Aus der Hautklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. W. Schneider

Untersuchungen über Charakter und Effekt verschiedener Kompressionsmethoden bei chronisch venöser Insuffizienz.

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Sigurd Pütter
aus Iserlohn

1969

Aus der Hautklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. W. Schneider

Untersuchungen über Charakter und Effekt verschiedener Kompressionsmethoden bei chronisch venöser Insuffizienz.

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Sigurd Pütter
aus Iserlohn

1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. med. J. Hirschmann

1. Berichterstatter: Professor Dr. med. W. Schneider
2. Berichterstatter: Wiss. Rat. Doz. Dr. med. P. Pauschinger

Meinem Vater

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543901_0015

Inhalt

Seite

I. Einleitung – Fragestellung 1
II. Methodik 2
1. Problematik der Druckmessung 2
a) Mathematisch 3
b) Ballonsonden 5
c) andere Methoden 6
d) Segmentplethysmographie 6
2. Ödemmessung 8
a) Ultra-Schall-Impuls-Verfahren 9
b) Elastographie 9
3. Versuchsanordnung 10
a) Personenkreis 10
b) Untersuchungsgang 11
III. Ergebnisse 17
1. Wadenumfang 17
2. Echolot 19
3. Elastogramm 25
4. Segmentplethysmographie 38
5. Kompritest 48
IV. Besprechung der Ergebnisse 52
1. Abschnitt I/II 53
2. Abschnitt I/IV 54
3. Abschnitt II/III 57
V. Zusammenfassung 60
VI. Literaturverzeichnis 63
Lebenslauf

Einleitung und Fragestellung

Die Kompressionstherapie bei der chronisch venösen Insuffizienz ist in ihrem klinischen Wert unbestritten. Erfahrungsgemäß ist das Mittel der Wahl bei ödematösen Stadien der Kompressionsverband; nach Beseitigung des Ödems ist zur Nach- bzw. Dauerbehandlung ein Kompressionsstrumpf vorzuziehen (1).

Eine optimale Wirkung wird nur erzielt, wenn es gelingt, einen genügend großen konzentrischen Druck auf das Bein auszuüben, der von distal nach proximal kontinuierlich abnimmt, um den Rückstrom des Blutes zum Herzen zu garantieren. Insbesondere soll nirgends eine Druckschwelle auftreten, die zu einem örtlichen Strömungshindernis führt, da sonst das Blut trotz der äußeren Kompression – wie beispielsweise vor einem Strumpfband – aufgestaut und so der pathologische Zustand eher verstärkt als verbessert wird. Diese Forderung gilt ebenso für Verbände wie für Kompressionsstrümpfe.

Um die natürliche Pumpwirkung der Skelettmuskulatur bei der Muskelkontraktion nach Möglichkeit noch zu verstärken, soll die Kompression nicht zu elastisch sein und nicht zu sehr nachgeben. Weniger dehnbare Binden schmiegen sich aber nicht so gut den Konturen des Unterschenkels an wie solche größerer Elastizität. Ihre Haltbarkeit und Funktionsfähigkeit ist geringer. Ein Kompressionsverband mit weniger dehnbaren Binden muß deshalb besonders sorgfältig angelegt werden, entsprechend der jeweiligen Form des Beines, und er muß genügend haltbar sein. Seine Wirkung geht in dem Maße verloren, in dem er verrutscht oder nachgibt. Halbstarre Verbände wie Stärke- oder Zinkleimverband sind zwar genügend elastisch und haltbar, büßen ihre Wirkung aber in dem Maße ein, in dem ein Ödem zurückgeht.

Unter verschiedenen Verbandstechniken haben sich die von Heinr. FISCHER (2) oder G. PÜTTER (3) angegebenen wohl am besten durchgesetzt. Allerdings wurde der von FISCHER ursprünglich als modifizierter Zinkleimverband gedachte und ange-

gebene Unterschenkelverband in der Folgezeit u. a. im Sinne von BAYNTON und LASKER weiter abgewandelt; er umfaßt nunmehr ebenfalls die Ferse, und er wird auch unter Zuhilfenahme von *elastischen* Klebebinden ausgeführt. Ursprünglich wurde über die untere Lage aus Zinkleim und geschnittenen Mullbinden oder an den Kanten eingeschnittenen Gazebinden (ohne Webkante!) eine Idealbinde gewickelt. Der entscheidende Fortschritt des PÜTTER-Verbandes besteht nun darin, daß die Wickelrichtung der 2. Binde der der ersten entgegengesetzt ist („Kreuzverband"). Dadurch gewinnt der Verband in sich eine gewisse ausgleichende Festigkeit und Plastizität. Er läßt sich viel besser an den Unterschenkel anmodellieren und rutscht wesentlich weniger als ein Verband mit zwei in gleicher Richtung angewickelten Binden. Bei gutem Sitz hält er erfahrungsgemäß bis zu einer Woche, was für die Praxis als entscheidender Vorteil anzusehen ist.

In der vorliegenden Untersuchung sollten die mechanischen Eigenschaften verschiedener Kompressionsverbände und ihre klinischen Wirkungen bestimmt und untereinander verglichen werden. Weiterhin wurden „mittelstark komprimierende" Kompressionsstrümpfe in den Vergleich mit einbezogen. Die aufgrund exakter Messungen gewonnenen Ergebnisse wurden statistisch erfaßt und teilweise hinsichtlich ihrer Signifikanz bestimmt. Dadurch konnte das Urteil über die Qualität der einzelnen in der Untersuchung stehenden Behandlungsmethoden objektiviert werden.

II. Methodik

1. Problematik der Druckmessung

Wie schwierig es ist, die tatsächliche, konzentrische Kompressionswirkung eines Verbandes oder eines Strumpfes zuverlässig zu messen, haben ADAM, BARBEY und OEHMICHEN (4) sowie van der MOLEN (5) aufgezeigt. Die verschiedenen Methoden der Messung konzentrischer Druckwirkungen am Bein sollen hier besprochen und hinsichtlich ihres Aussagevermögens diskutiert werden.

Vorab einige mathematisch-physikalische Vorausbemerkungen zu Druckmessungen an zylindrischen Körpern mit wechselndem Umfang.

a) Mathematisch

Wird um einen kompakten Zylinder ein Band gelegt und angezogen, so ist der entsprechende Druck proportional der Querspannung und umgekehrt proportional zum Radius.

$$(p = \frac{\text{Querspannung}}{\text{Halbmesser}})$$

Demzufolge ist der Andruck eines gleich straff gespannten Bandes auf Zylinder mit verschiedenem Umfang nicht gleich: Er beträgt nach van der MOLEN (5, 6) bei einer konstanten Querspannung von

140 g/cm an einem Zylinder mit einem Umfang von 22 cm (r = 3,5 cm) $\frac{140}{3,5} = 40$ g/cm^2, entsprechend 29,4 mm Hg Andruck/cm^2, wenn 1,36 g/cm^2 = 1 mm Hg gesetzt werden.

An einem Zylinder mit einem Umfang von 37 cm (r = 5,9 cm) aber nur $\frac{140}{5,9 \times 1,36} = 17,3$ mm Hg Andruck/cm^2.

Die Andrucke sind an einem ungleichmäßig gekrümmten Körper, wie die Abb. 1 zeigt, je nach dem betreffenden Meßbereich außerordentlich verschieden. Der Andruck beträgt z. B. an den markierten Seiten bei einer konstanten Querspannung von 180 mm Hg im Falle r I 18,4, im Falle r II 40,1, bei r III 21,7 und schließlich bei r IV 53,0 mm Hg Andruck/cm^2. Derartige Druckunterschiede lassen sich nicht einmal durch Variationen in der Strickarbeit eines Kompressionsstrumpfes ausgleichen, da sich die Querspannung beim Gehen sehr rasch auf einen gleichmäßigen Wert ausgleichen würde.

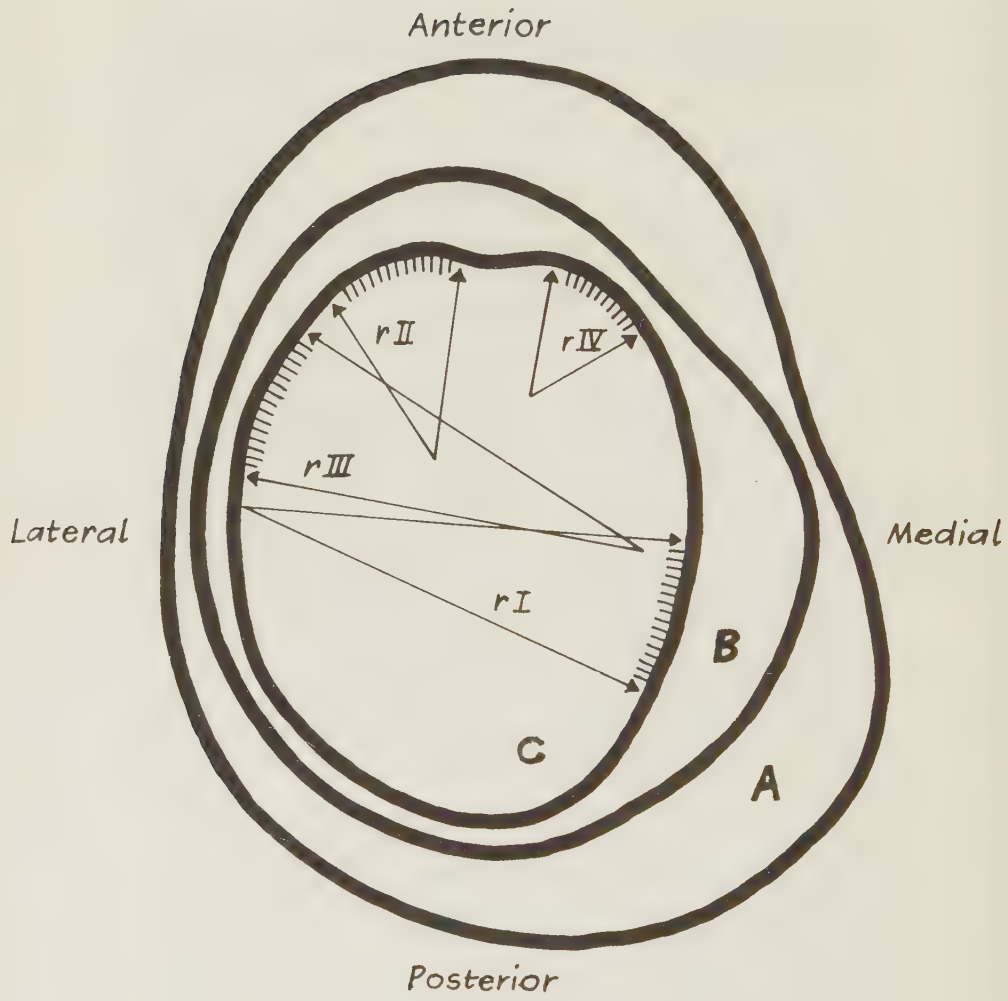

Abb. 1: 3 Querschnitte durch das linke Bein in der Mitte des Oberschenkels (A), an der Wade (B) und in der Fesselgegend (C). [*modifiziert nach van der MOLEN (5)*]

Geht die konvexe Krümmung in eine Gerade über, wird der Andruck gleich Null ausfallen ($r = \infty$), desgleichen bei einer konkav gekrümmten Fläche. Dennoch kann die Kompressionswirkung beträchtlich sein, wenn es sich z. B. um einen Balken mit quadratischem oder rechteckigem Querschnitt handelt: Die ganze Kompression wirkt dann auf die Kanten. Hier reißt bei maximalem Zug ein Band ein, weil es zu einem Andruck auf die Seitenflächen überhaupt nicht kommen kann.

b) Ballonsonden

Diese Verhältnisse sind auch zu berücksichtigen, wenn der Andruck durch Abheben des komprimierenden Gewebes mittels einer Ballonsonde gemessen werden soll [van der MOLEN (5), AUSSUM (7), HAID (8), OLSEN (9), SIGG (10), SCHMITZ (11)]. Der Meßfehler ist umso größer, je kleiner der Durchmesser einer solchen Abhebung bzw. deren Radius ist. Die Anbringung einer festen, unnachgiebigen Unterlage bereitet weitere Schwierigkeiten. Alle Ballonmethoden ergeben daher viel zu hohe Werte, die, wenn sie mit luftgefüllten elastischen Kapseln arbeiten, infolge der Druckempfindlichkeit des Meßsystems auch noch relativ verzerrt werden. Die Bestimmung eines apiko-kaudalen Druckanstieges im Kompressionsverband ist deshalb mit diesen Methoden nicht einmal annäherungsweise möglich [ADAM, BARBEY und OEHMICHEN (4)]. Das gleiche gilt für Drucknehmer, die mit einer vorbestimmten Ausgangsfüllung arbeiten.

Diese Kritik gilt auch für das in der vorliegenden Untersuchung benutzte Kompritestmeter nach OLSEN, das nur wegen seiner einfachen Handhabung Verwendung fand und lediglich zur weiteren Orientierung diente. Seine Werte liegen am kompakten Phantom mindestens doppelt so hoch wie die errechneten. Die Ergebnisse werden dadurch noch weiter beeinträchtigt, daß nach unseren Feststellungen die bei steigendem und fallendem Ballondruck angezeigten Druckwerte um mehr als 30 % differieren. Bei der Besprechung der Ergebnisse wird darauf noch weiter einzugehen sein.

Bei den Drucknehmern von HAID und van der MOLEN wurde versucht, den Abhebe-Fehler dadurch auszuschalten, daß die Hubhöhe auf ein Minimum beschränkt wird; denn die Messung erfolgt in dem Augenblick, wo die beiden Innenflächen des Ballons auseinanderweichen, was durch die Unterbrechung eines Stromkreises markiert wird. Am kompakten Phantom liegen die gemessenen Werte nur wenig über den errechneten (van der MOLEN).

c) Andere Methoden

ADAM, BARBEY und OEHMICHEN haben demgegenüber versucht, den wahren Andruckwert durch Extrapolation eines Druckabhubdiagramms gegen den Anhub gleich Null indirekt zu bestimmen. Daneben haben sie auch noch starre mechano-elektrische Druckwandler als Rezeptoren benutzt.

d) Segmentplethysmographie

Eine weitere Methode die Dehnungsqualität eines Kompressionsverbandes oder -strumpfes zu untersuchen, ist in der Segmentplethysmographie gegeben. Dabei kann die Ausdehnung des Unterschenkels unter einer Manschette gegen den gesamten Widerstand der Kompression bei verschiedenen Staudrucken quantitativ gemessen und pro 100 ml Weichteilgewebe (WG) umgerechnet werden, so daß absolute Meßgrößen entstehen.

Werden mit den so gewonnenen Werten Druck-Volumen-Diagramme aufgestellt, so zeigt eine Parallelverschiebung der Kurve nach links oder rechts eine verminderte bzw. gesteigerte Aufnahmefähigkeit (bei gleichen Staudrucken) an. Eine Änderung der Verlaufsrichtung dagegen beweist veränderte Dehnungseigenschaften (12, s. auch Abb. 9).

Das Verfahren wurde in Anlehnung an BARBEY und ADAM auf Empfehlung von PAUSCHINGER in der vorliegenden Untersuchung zur Beurteilung und zum Vergleich komprimierender Maß-

nahmen und ihrer Wirkungen angewandt. Die durch die Volumenzunahme des Meßobjektes im System auftretende Drucksteigerung wurde durch Luftentnahme bis auf etwa 1 ml weitgehend auskorrigiert. Der durch die druckabhängige Volumenempfindlichkeit des Systems dann noch verbleibende Meßfehler kann nach Feststellung von PAUSCHINGER und RIECKERT (13) vernachlässigt werden. In einem idealen System müßte, wenn die angelegte Kompression (Verband oder Strumpf) nicht völlig starr ist, (s. o.) dann eine Ausdehnung einsetzen, wenn der von innen her auf die Kompression wirkende Staudruck den Andruck übersteigt. Die Neigung der Kurve im Druck-Volumen-Diagramm wird von der Dehnbarkeit des Kompressions-Materials bestimmt: Je starrer die Kompression ist, desto steiler ist der Anstieg der Kurve; bei einem undehnbaren Mantel (der dabei keineswegs stramm anliegen müßte), verläuft die Kurve senkrecht nach oben.

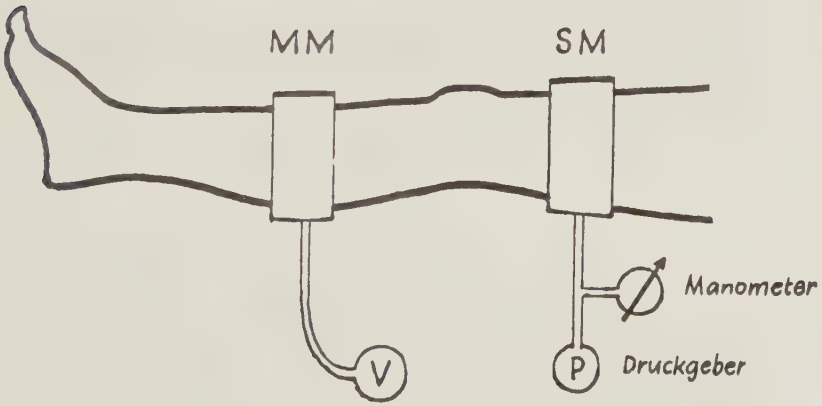

Abb. 2: Durch Aufpumpen der Staumanschette SM am Oberschenkel wird ein bestimmter Staudruck angelegt und das Ausdehnungsvolumen (V) der Wade unter der Meßmanschette MM quantitativ gemessen und auf ml Ausdehnung/100 ml Weichteilgewebe umgerechnet.

Der bei den vorliegenden Untersuchungen verwandte Segmentplethysmograph (12, 14, 15, 16), Vasoscript nach BARBEY* erfaßt nicht die niederen Staubereiche, weil bereits die Meßmanschette mit einem Druck von 10 mm Hg angelegt werden muß.

Außerdem kann die Kraft, mit der die Ausdehnung erfolgt, durch das subkutante Fettpolster je nach dessen Dicke aufgefangen und abgedämpft werden. Schließlich ist der effektive Staudruck (am Oberschenkel) ebenfalls von der Dicke der Weichteile abhängig (12, 17). Die Methode ist verwendbar zum Vergleich verschiedener komprimierender Maßnahmen. Wegen der Fehlerbreite der Apparatur sind für eine statistische Auswertung aber jeweils mindestens 10 Untersuchungen (5 Versuchspersonen) notwendig. Der Abstand der Druckvolumenkurve von der Ordinate im niederen Staubereich stellt ebenfalls ein relatives Maß für den Andruck dar (Abb. 9).

Diese Untersuchungsmethode konnte allerdings als einzige in allen Abschnitten des Untersuchungsganges angewandt werden und erlaubt so das umfassendste Urteil.

2. Ödemmessung

Mit der zur Verfügung stehenden Sondenmethode und der Plethysmographie waren nur bestimmte wenn auch entscheidende Funktionen zu erfassen. Darüber hinaus ist insbesondere bei der Beurteilung vergleichender plethysmographischer Meßwerte die Stärke eines vorhandenen Ödems unbedingt zu berücksichtigen. Deshalb war eine zusätzliche Ödemmessung unabdingbar. Erfahrungsgemäß sind dafür aber bloße Umfangsmessungen am Unterschenkel zu ungenau. Zur Gewinnung aussagefähiger Meßwerte bei der Ödembestimmung wurden zwei weitere Untersuchungsmethoden angewandt.

*Hersteller: Firma Boucke, Tübingen

a) Ultraschall-Impulsecho-Verfahren

Mit dem Ultraschall-Impulsecho-Verfahren (18) kann nach SCHNEIDER und FISCHER (19) der Hautknochenabstand über der medialen Tibiafläche bestimmt werden. Ein dickes Bein setzt aber bei gleicher Umfangs- bzw. Dickenzunahme wesentlich mehr Volumen an als ein dünnes.

Der Inhalt eines Zylinders beträgt $r^2 \pi h$; bei einer Zunahme oder Abnahme des Radius um den Betrag Δr ändert sich das Volumen nach der Formel

$$V \text{ (Volumenwert)} = 2 r \Delta r \pi h$$

d. h. die Volumenzu- oder -abnahme ist sowohl proportional r als auch Δr [Umfangsveränderung (20)].

Der Hautknochenabstand muß abgelesen werden, wenn der Meßkopf gerade eben die Haut berührt (1. Wert). Der 2. Wert wird beim Aufdrücken des Meßkopfes auf die Haut ermittelt. Die Differenz zwischen diesen beiden Meßwerten entspricht der Eindrücktiefe. Die Dicke der komprimierten Weichteilmasse könnte u. a. auch vom Quellungszustand der kollagenen Fasern mitbestimmt werden.

b) Elastographie

TRONNIER (21, 22) hat Ödemmessungen mit einem modifizierten Elastometer vorgenommen. Dabei wird auf den waagerecht gelagerten und fixierten Unterschenkel im Weichteilbereich ein Plastiktrichter mit 2 cm lichter Weite aufgesetzt und in Stufen von je 1 mm bis zu 1 cm tief eingedrückt, wobei der jeweilige Auflagedruck in Pond (p) abgelesen und die Vorwölbung der Haut in die Trichteröffnung hinein mechanisch gemessen wird. Die gewonnenen Kurven erlauben gewisse Rückschlüsse auf die innere Festigkeit der Haut und der darunterliegenden Gewebe. Bei einem lockeren Ödem ist der notwendige Auflagedruck gering

und die Vorwölbung groß. Gestraffte Haut dagegen erfordert einen höheren Auflagedruck bei geringerer Vorwölbung. Diese Verhältnisse ergeben, in ein Koordinatensystem eingetragen, eine Parabel und lassen damit die beiden genannten Möglichkeiten zu.

3. Versuchsanordnung

a) Personenkreis

Untersucht werden insgesamt 11 Frauen und 2 Männer im mittleren Lebensalter, die an einer chronisch vernösen Insuffizienz litten, teils mit und teils ohne Ulcera crurum (s. Tab. 1).

5 Personen standen in klinischer Behandlung, 9 Frauen waren für eine Woche in die Klinik einbestellt worden, zur Kontrolle ihrer Gummistrümpfe, die ihnen anläßlich eines früheren Klinikaufenthaltes verordnet worden waren. Bei der Ankunft in der Klinik trugen von diesen nur 4 den verordneten Maßgummistrumpf, 5 Frauen brachten ihre Strümpfe in der Tasche mit. Von diesen trug eine stattdessen einen Stützstrumpf aus Nylon, ein Paar war erheblich verschlissen. Eine Frau konnte den Strumpf wegen eines handgroßen Ulcusrezidivs nicht tragen und schied aus, so daß nur 8 von den einbestellten Personen untersucht wurden.

Die Strümpfe waren 1/4 Jahr und älter, ganz vereinzelt bis zu einem Jahr. Insgesamt waren 16 Frauen angeschrieben worden; nur 3 Frauen sagten mit der Begründung ab, daß der Strumpf zu eng sei, der Rest antwortete nicht – insgesamt ein kennzeichnendes Bild für die Gleichgültigkeit vieler Ulcus-Kranker.

Nicht alle Kranken hatten manifeste Ödeme, es wurde daher darauf geachtet, für jede Versuchsanordnung bzw. Kompressionsmethode eine Gruppe zu bilden, die mindestens 5, möglichst 10 Personen umfaßte. Die Wirkung der Konfektionsgummistrümpfe wurde nur an stationären Klinikpatienten untersucht, da diese noch keine Maßgummistrümpfe besaßen (Erstbehandlung von Neuzugängen). Es handelt sich also bei dieser Gruppe um

mehr oder weniger ausgelesene Versuchspersonen. Diese besondere, einseitige Zusammensetzung läßt hier den statistischen Vergleich mit anderen Gruppen nur mit großem Vorbehalt zu. Die Prüfung auf Vergleichbarkeit erfolgt mit dem F-Test. Dieser Gesichtspunkt war zunächst nicht beachtet worden, weil nur die im Laufe eines Tages auftretenden Veränderungen geprüft werden sollten. Sonstige Vergleichsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Maßnahmen ergaben sich im Laufe der Untersuchung und wurden zusätzlich aufgegriffen.

Untersucht wurden jeweils beide Beine, um eine größere Anzahl von Meßwerten zu gewinnen. Einen Überblick über das Krankengut und die an den einzelnen Kranken überprüften verschiedenen Kompressionsmöglichkeiten gibt Tab. 1.

b) Untersuchungsgang

Die Messungen erstreckten sich für jede Versuchsanordnung über einen vollen Tag. Der Untersuchungsplan wurde nach Möglichkeit so angelegt, daß die Untersuchungen am Montag begannen und in einer bestimmten Reihenfolge bis zum Wochenende abgeschlossen waren. Begonnen wurde mit einem „Leertag". Daran schloß sich am folgenden Tag die Untersuchung mit einem Kompressionsstrumpf an. Darauf wurde einen Tag später ein Kompressionsverband mit einer Binde, beginnend am Hohlfuß von innen nach außen unter Einbeziehung der Ferse bis unter das Knie angelegt (EV). Am nächsten Tag wurde die Wirkung eines Kreuzverbandes (KV) mit gegenläufigen Binden und am letzten Tag die eines Verbandes mit zwei in gleicher Richtung angewickelten Binden gemessen (DV).

Als Konfektionsstrümpfe (KGS) dienten mittelstraffe, zweizügige Gummistrümpfe (medi super II* bzw. JUZO***). Bei den Maßgummistrümpfen (MGS) handelt es sich um Neo-Durelna bzw. Neo-Varex-Zweizugstrümpfe***, mit einer angegebenen Spannung von 181 bzw. 152 g/cm und Druckwerten von 44 bzw. 37 mm Hg („mittelkräftiger Kompression"), bei denen die Querspannung hauptsächlich durch Einlege-Gummifäden erzielt wird, die Längsspannung durch Strickgummifäden.

Tab.: 1 Krankengut und überprüfte Kompressionsmethoden

Name	Vor-name	Alter	Diagnose	Leer	MGS	KGS	EV	KV	DV
B	A	41	Stauungsdermatose	+		+	+	+	+
G	K	65	Unterschenkelödem				+	+	+
B	J	46	postthrombot. Ödeme am re und li Bein	+		+	+	+	+
G	A	47	tiefe Vasculitis	+	+		+	+	
N	N	63	chron. Unterschenkel-ödem				+	+	+
P	E	58	primäre Varikose	+		+	+		
R	C	77	Ulcus cruris varic.		+	+	+		+
S	S	72	postthrombot. Symptomen-komplex		+			+	
S	G	34	postthrombot. Zustand			+			+
W	M	46	postthrombot. Zustand	+	+		+	+	+
W	J	45	Zustand nach Ulcus cruris varicosum	+	+			+	+
J	F	60	Zustand nach Thrombo-phlebitis	+			+	+	+
L	A	58	variköser Symptomen-komplex	+			+	+	+

Maßgummistrumpf – MGS, Konfektionsgummistrumpf – KGS,
Einbinden–Verband – EV, Kreuzverband – KV, Doppelverband – DV.

Für die Druckverbände wurden nur die 10 cm breiten elastischen Binden des PÜTTER-Verbandes ®**** verwandt (hautfarben mit Webkante). Sie sind kräftiger als die Idealbinden nach DIN 61632, deren Fadenzahl nach Angaben der Herstellerfirma je cm^2 = 32/33 (17 + 15/16) beträgt gegenüber mindestens 31 (16 + 15) Fäden bei genormten elastischen Binden mit Baumwollkette. Die Dehnbarkeit beträgt minimal 90 % jedoch nicht über 110 %; die Länge ungedehnt 2,60 m ± 5 %, gedehnt 5 m ± 3 % (Spannungs-Dehnungsdiagramme s. Abb. 3).

Abb. 4 zeigt die Technik des PÜTTER-VERBANDES ®.

Um eine größtmögliche Gleichmäßigkeit in der Ausführung der Verbandstechnik zu gewährleisten, wurden alle Verbände stets vom Untersucher selbst angelegt und die Binden dabei so fest wie möglich angezogen (ohne Rücksicht auf das anfängliche Spannungsgefühl, das sich nach kurzem Umhergehen rasch verliert). Die Probanden wurden gehalten, nach Anlage der Kompression jeden Tag etwa die gleiche Strecke zu gehen und untertags die Beine weder hoch zu lagern, noch sich gar ins Bett zu legen. Jeder Versuchstag wurde in 4 Abschnitte unterteilt, bei denen folgende Messungen durchgeführt wurden:

* Hersteller: Fa. Weco, Weihermüller & Voigtmann
** Hersteller: Fa. Julius Zorn, Aichach
*** Hersteller: Varitex GmbH
**** Hersteller: Fa. Paul Hartmann, Heidenheim

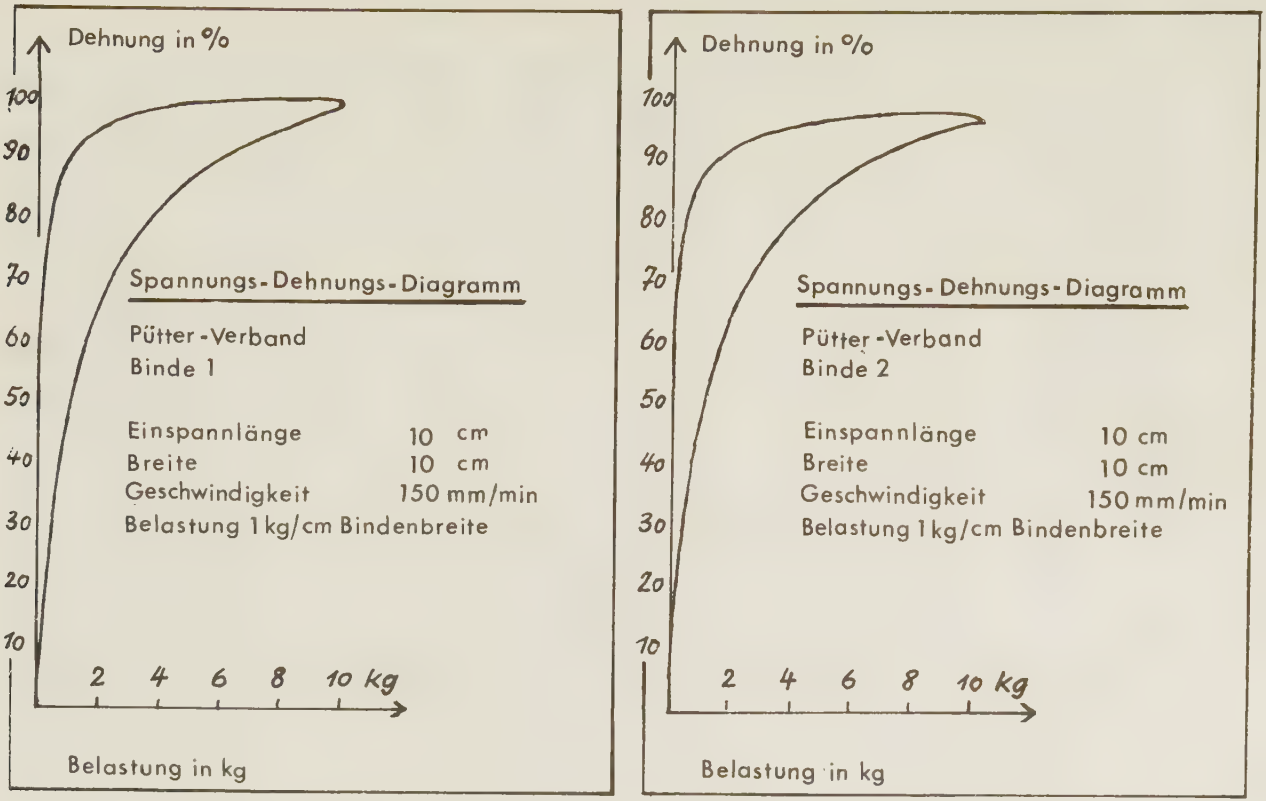

Abb. 3: Binde I und Binde II des „Pütter-Verbandes" sind von gleicher Qualität. Die technischen Angaben zum „Pütter-Verband" und die Spannungs-Dehnungs-Diagramme wurden freundlicherweise von der Fa. Paul Hartmann zur Verfügung gestellt.

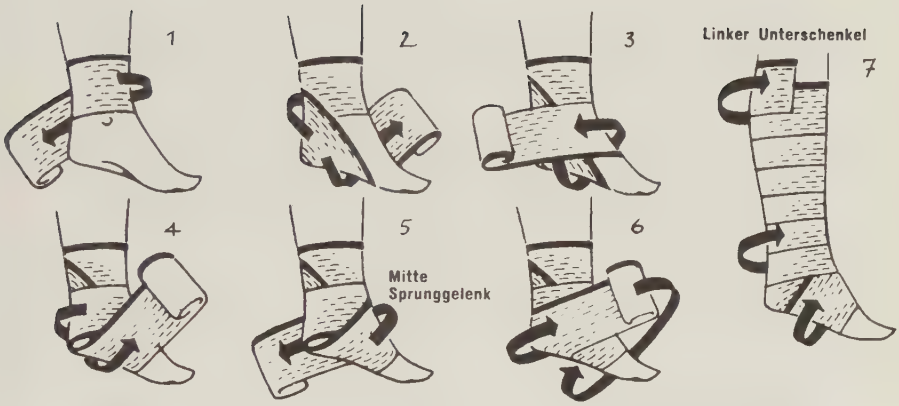

Abb. 4: Wickeltechnik beim Kreuzverband nach G. PÜTTER (Verlauf der 1 Binde mit besonderem Fersenschlß). Die 2. Binde wird in entgegengesetzter Richtung angewickelt, ebenfalls beginnend im Knöchelbereich unter Verzicht auf besonderen Fersenschluß.

Abschnitt I. Messungen vor Anlage der Kompression am Morgen:

1. *Wadenumfang* in cm, am freihängenden Unterschenkel im Bereich des größten Wadenumfanges gemessen.

2. *Echolot* an genau markierten Stellen über der medialen Tibiakante, a) in Fesselhöhe, b) in Unterschenkelmitte, c) unterhalb des Knies, in mm.

3. *Plethysmographie:* Hier wurde die bei Staustufen von 20, 40 und 80 mm Hg eingetretene Volumenzunahme auf 100 ml Weichteilgewebe (ml/100 ml WG) bezogen bzw. umgerechnet.

4. *Das Elastogramm* wurde an der Wade und der Fessel aufgenommen.

Abschnitt II. Messungen nach Anlage der Kompression (Strumpf bzw. Kompression):

1. *Kompritestmeter* nach OLSEN über der medialen Tibiafläche an Fessel, Unterschenkelmitte und unterhalb des Knies in mm Hg bei ansteigendem und abnehmendem Ballondruck (Abhub 1,5 mm mit optischer und akustischer Markierung).

2. *Segmentplethysmographie* bei Staustufen von 20, 40 und 80 mm Hg (s. oben).

Abschnitt III. Messungen vor Abnahme der Kompression am Abend (wie Abschnitt II):

1. *Kompritest* und

2. *Segmentplethysmographie*

Abschnitt IV. Messungen nach Abnahme der Kompression am Abend (Strumpf oder Verband): (wie Abschnitt I):

1. *Segmentplethysmographie*

2. *Umfang*

3. *Echolot*

4. *Elastogramm*

Auf diese Weise wurden insgesamt 11436 Einzelwerte gewonnen, die statistisch verarbeitet und ausgewertet wurden.

III. Ergebnisse

Maßnahmen zur Normung

Um vergleichbare Werte zu erhalten, wurden von allen Untersuchungen die jeweiligen Mittelwerte, dazu deren Streuung mit der Standardabweichung errechnet. Ergaben sich innerhalb einer Versuchsanordnung zwischen zwei Messungen (z. B. Abschnitt I und IV oder II und III) Differenzen, so wurden diese zusätzlich noch prozentual auf den Ausgangswert der jeweiligen Versuchsanordnung berechnet. Auf diese Weise wurde erreicht, daß die Gruppen, die nicht immer den gleichen Personenkreis umfaßten, und deshalb nicht den gleichen Ausgangswert aufweisen konnten, dennoch unter sich vergleichbar sind. Bei der Elastographie erbrachte dieses Vorgehen jedoch keinen Vorteil, so daß hier auf eine statistische Bewertung verzichtet und nur die allgemeine Veränderungstendenz der Kurven selbst (vor Anlegen und nach Abnahme des Verbandes) verwertet wurde.

Im folgenden Text wurden zur Vereinfachung einige Zahlenwerte auf zwei Stellen hinter dem Komma verkürzt. Die Tabellen enthalten die vollen Wertangaben. Zum statistischen Vergleich wurde der Student-(t-)Test angewandt. Dabei wurde in jedem Falle im F-Test vorher geprüft, mit welcher Wahrscheinlichkeit die beiden Reihen miteinander übereinstimmten und somit vergleichbar waren oder nicht (s. Kapitel IV).

1. Wadenumfang

Der mittlere Wadenumfang von 9 Versuchspersonen (= 18 Beinen) betrug am Morgen des Leertages (Abschnitt I) 39,95 ± 4,58 cm, am Abend (Abschnitt IV) 40,98 ± 4,43 cm. Die mittlere Zunahme vom Morgen bis zum Abend betrug demnach + 1,03 cm, das sind + 2,596 % des Morgenwertes (s. Tab. 2).

	Mittl. Wadenumfang am Morgen (Abschnitt I)		Mittl. Wadenumfang am Abend (Abschnitt IV)		Differenz der Mittelwerte (von $\bar{x}$)	= % des mittl. Morgenwertes (von $\bar{x}$)
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$		
Leer	39,946	4,577	40,983	4,429	+ 1,037	+ 2,596
MGS	40,594	4,684	40,313	5,379	– 0,281	– 0,692
KGS	40,286	3,268	40,771	3,642	+ 0,485	+ 1,203
EV	40,479	4,411	40,146	4,810	– 0,333	– 0,822
KV	39,917	4,247	39,000	4,470	– 0,917	– 2,297
DV	39,364	3,720	38,250	3,972	– 1,114	– 2,829

Tab. 2: Verhalten des mittleren Wadenumfangs während des Tages und bei Anwendung verschiedener komprimierender Maßnahmen.

Danach nahm der mittlere Wadenumfang unter den *Maßgummistrümpfen* (MGS) im Laufe des Tages um – 0,28 cm = – 0,692 % des Morgenwertes ab, unter den *Konfektionsgummistrümpfen* 49 cm zu (= + 1,203 % des Morgenwertes). Unter dem *Einbinden-Verband* (EV) betrug die Abnahme – 0,33 cm = 0,822 % des Morgenwertes, unter dem *Kreuzverband* (KV) – 0,91 cm = – 2,297 % des Morgenwertes und unter dem *Doppelverband* (DV) sogar – 1,11 cm = – 2,829 % des Morgenwertes.

Demnach hat der Doppelverband zu der größten prozentualen und absoluten Umfangsabnahme geführt, knapp vor dem Kreuzverband. Dagegen betrug die Ödemschutzwirkung der Kompressionsgummistrümpfe nur etwa 1/3 bis 1/4 der Zweibinden-Verbände (KV, DV). Sie liegt damit noch unter der eines Einbinden-Verbandes. Allerdings handelt es sich um Maßgummistrümpfe, die z. T. schon etwas überdehnt und damit nicht mehr so wirksam waren, wie neue Strümpfe. Hierbei ist von der Praxis her zu bedenken, daß von den Krankenkassen im allgemeinen nur ein, höchstens zwei Gummistrümpfe pro Jahr genehmigt werden, so daß ein Strumpf, der etwa 1/4 Jahr im Gebrauch ist, geradezu die tatsächliche bzw. zu erwartende mittlere Kompression anzeigt. Am ungünstigsten verhielten sich die Konfektionsstrümpfe. Sie konnten in der Gruppe, die nur aus Klinikpatienten bestand, eine Umfangszunahme nicht verhindern. Diese ist aber immer noch kleiner als die natürliche Umfangszunahme im Laufe eines Tages ohne komprimierende Maßnahmen (+ 1,037 cm = + 2,6 %) gegen + 0,48 cm = + 1,2 %, so daß auch dem Konfektionsstrumpf eine begrenzte Ödemschutzwirkung nicht abgesprochen werden kann.

Die Differenz der Umfangsmaße zwischen Abschnitt I und IV (morgens vor Anlage und abends nach Abnahme des Verbandes) unter den verschiedenen komprimierenden Maßnahmen und ohne diese zeigt Abb. 5.

2. Echolot

Die Echolotwerte wurden an drei verschieden hohen Stellen des Unterschenkels abgenommen (s. Untersuchungsgang I,2). Echt vergleichbar mit den Umfangswerten sind daher nur die Messungen in Unterschenkelmitte. Entscheidend für eine therapeutische Wirkung ist dagegen eher die Kompression in der Fesselgegend, weshalb diese Ergebnisse ebenfalls zu beachten sind. Unterhalb des Knies sollen Kompressions-Verbände bzw. -Strümpfe am lockersten anliegen. Eine stärkere ödemausleitende Wirkung ist hier daher meist nicht zu erwarten (falls es sich nicht um ein

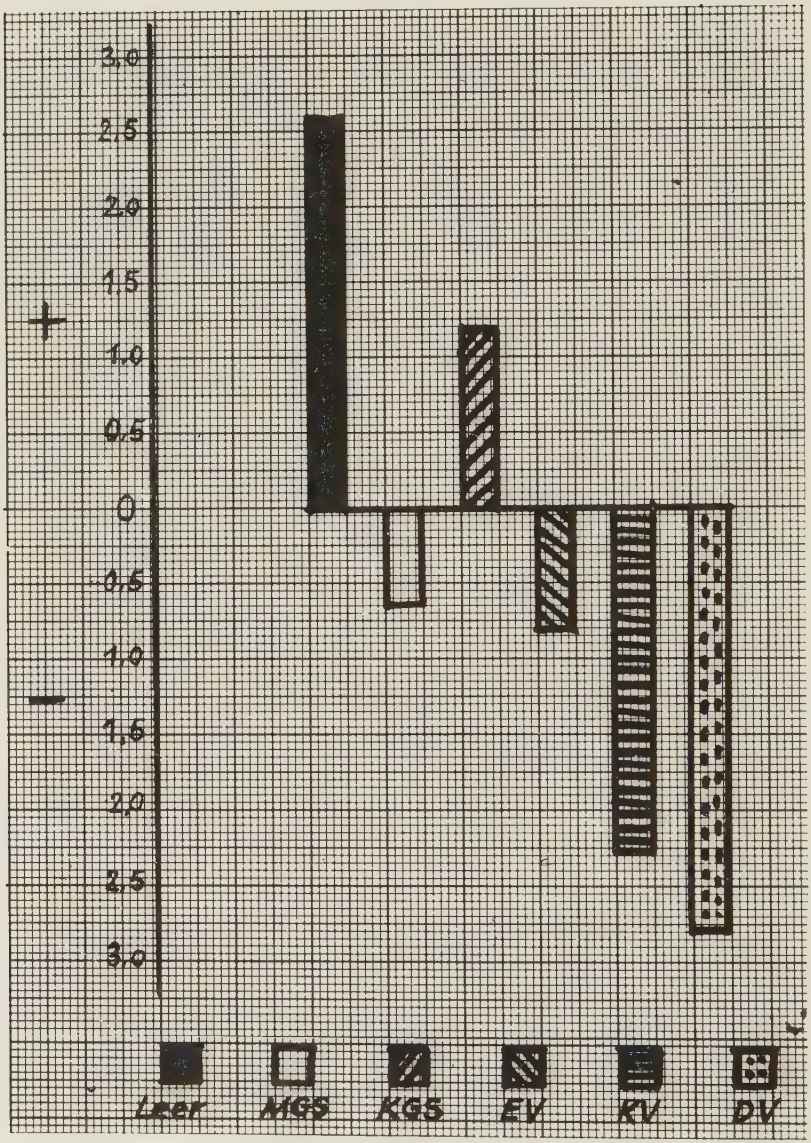

Abb. 5: Änderung des mittleren Wadenumfanges während des Tages und bei Anwendung einer komprimierenden Maßnahme, jeweils im Vergleich zum Morgenwert (Abschnitt I/IV).

Stauungsödem des ganzen Beines bei Beckenvenensperre oder Bifurkationssyndrom handelt). Im *Leerversuch* beträgt die mittlere Änderung der Hautknochendistanz (HKD) unter natürlicher Belastung vom Morgen bis zum Abend unterhalb des Knies + 1,64 mm (= 16,98 % des morgendlichen mittleren Ausgangswertes von 9,66 mm), in Unterschenkelmitte + 0,31 (= + 3,50 % der morgendlichen mittleren HKD von 8,86 mm) und an der Fessel + 1,83 mm (= + 18,40 % von 9,95 mm mittlerer HKD am Morgen – s. Tab. 3 a-c u. Abb. 6).

Damit liegt eine Aussage vor, die mit klinischen Erfahrungen übereinstimmt. Nicht nur die Fessel ist ein Schwachpunkt in der Rückführung des venösen Blutes, sondern auch der Bereich unmittelbar unterhalb des Knies. In der Tat beginnen Ödeme recht häufig in der Kniekehle, und zwar nicht nur bei Thrombose. Die günstigen Verhältnisse im Bereich der Wade können auf die hier besonders effektive Muskelmpumpe zurückgeführt werden.

Beim *Konfektionsstrumpf* nahm die mittlere HKD unter dem Knie um + 0,54 mm (= + 5,04 % des Morgenwertes) zu , an der Wade stellte sich jedoch eine durchschnittliche Abnahme um – 0,77 mm (= – 8,4 %) ein und an der Fessel eine Abnahme von – 1,17 mm (= – 10,15 %).

Unter den *Kompressionsverbänden* war dagegen überall, d. h. an allen Meßpunkten eine Abnahme festzustellen (s. Tab. 3). Die Differenz zwischen den Morgen- und Abendwerten unter den einzelnen komprimierenden Maßnahmen zeigt Abb. 6. Die 1. Säule gibt die Differenz der Meßwerte zwischen der morgendlichen und abendlichen Kontrolle (Abschnitt I/IV) ohne Druck an, die 2. Säule des Echolots nach tiefem Eindrücken des Meßkopfes.

Auch dabei erzielt der Doppelverband (DV) die beste antiödematöse Wirkung. Sie übertrifft an der Fessel die der beiden anderen Verbände um das Doppelte und mehr, während in Gebrauch befindliche Maßgummistrümpfe eine geringe Ödembildung an Wade und Fessel im Laufe des Tages nicht verhindern konnten, wobei be-

Tab.: 3a unterhalb des Knies

	Mittl. HKD am Morgen (Abschnitt I)		Mittl. HKD am Abend (Abschnitt IV)		Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$		
Leer	9,660	3,961	11,300	4,504	+ 1,640	+ 16,977
MGS	10,808	3,924	10,385	3,444	– 0,423	– 3,913
KGS	10,692	3,908	11,231	5,019	+ 0,539	+ 5,041
EV	11,375	4,604	10,625	3,215	– 0,750	– 6,593
KV	10,700	5,048	10,000	4,451	– 0,700	– 6,542
DV	10,405	4,984	8,955	3,798	– 1,450	– 13,935

Tab.: 3b Unterschenkelmitte

	Mittl. HKD am Morgen (Abschnitt I)		Mittl. HKD am Abend (Abschnitt IV)		Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$		
Leer	8,857	3,112	9,167	3,270	+ 0,310	+ 3,500
MGS	9,462	3,455	10,269	3,087	+ 0,807	+ 8,528
KGS	9,154	2,764	8,385	2,293	– 0,769	– 8,400
EV	9,875	3,234	8,375	2,922	– 1,500	– 15,189
KV	8,175	2,759	7,864	3,371	– 0,311	– 3,804
DV	7,762	2,095	7,091	2,045	– 0,671	– 8,644

Tab.: 3c Fessel

	Mittl. HKD am Morgen (Abschnitt I)		Mittl. HKD am Abend (Abschnitt IV)		Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$		
Leer	9,946	4,248	11,776	5,031	+ 1,830	+ 18,399
MGS	11,462	4,655	11,615	4,053	+ 0,153	+ 1,334
KGS	11,500	8,083	10,333	3,114	– 1,167	– 10,147
EV	11,174	4,896	10,381	4,965	– 0,793	– 7,096
KV	11,474	5,237	10,881	5,379	– 0,663	– 5,778
DV	10,625	4,705	8,952	3,827	– 1,673	– 15,745

Tab. 3: Verhalten der mittleren Haut – Knochen – Distanz (HKD), nach sanftem Aufsetzen des Meßkopfes auf die mediale Tibiafläche (a – c) und nach dessen tiefem Eindrücken (d – f) in verschiedenen Etagen des Unterschenkels (unterhalb des Knies, an Wade u. Fessel) während des Tages und bei Anwendung verschiedener komprimierender Maßnahmen.

Tab.: 3d unterhalb des Knies

	Mittl. HKD am Morgen - Abschnitt I		Mittl. HKD am Abend - Abschnitt IV		Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$		
Leer	6,643	2,160	7,433	2,658	+ 0,790	+ 11,892
MGS	6,917	1,832	6,538	1,613	– 0,379	– 5,479
KGS	7,154	2,794	7,269	2,728	+ 0,115	+ 1,607
EV	7,000	2,449	6,208	1,808	– 0,792	– 11,314
KV	7,000	2,146	5,886	1,807	– 1,114	– 15,914
DV	5,690	3,486	6,045	2,152	+ 0,355	+ 6,239

Tab.: 3e Unterschenkelmitte

	Mittl. HKD am Morgen - Abschnitt I		Mittl. HKD am Abend - Abschnitt IV		Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$		
Leer	6,250	1,993	6,333	1,753	+ 0,083	+ 1,328
MGS	6,731	2,287	7,192	2,269	+ 0,461	+ 6,848
KGS	6,769	1,641	5,923	1,256	– 0,846	– 12,498
EV	6,604	2,315	5,917	1,789	– 0,687	– 10,402
KV	7,400	3,942	5,795	1,876	– 1,605	– 21,689
DV	5,857	1,526	5,000	1,155	– 0,857	– 14,632

Tab.: 3f Fessel

	Mittl. HKD am Morgen - Abschnitt I		Mittl. HKD am Abend - Abschnitt IV		Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{X}$	$S_{\bar{x}}$		
Leer	7,268	2,936	8,138	2,803	+ 0,870	+ 11,970
MGS	7,885	3,661	7,654	2,593	– 0,231	– 2,929
KGS	8,083	3,554	7,417	2,236	– 0,666	– 8,239
EV	7,065	2,788	6,696	2,898	– 0,369	– 5,222
KV	7,868	3,650	6,857	2,802	– 1,011	– 12,849
DV	7,025	2,810	6,095	2,256	– 0,930	– 13,238

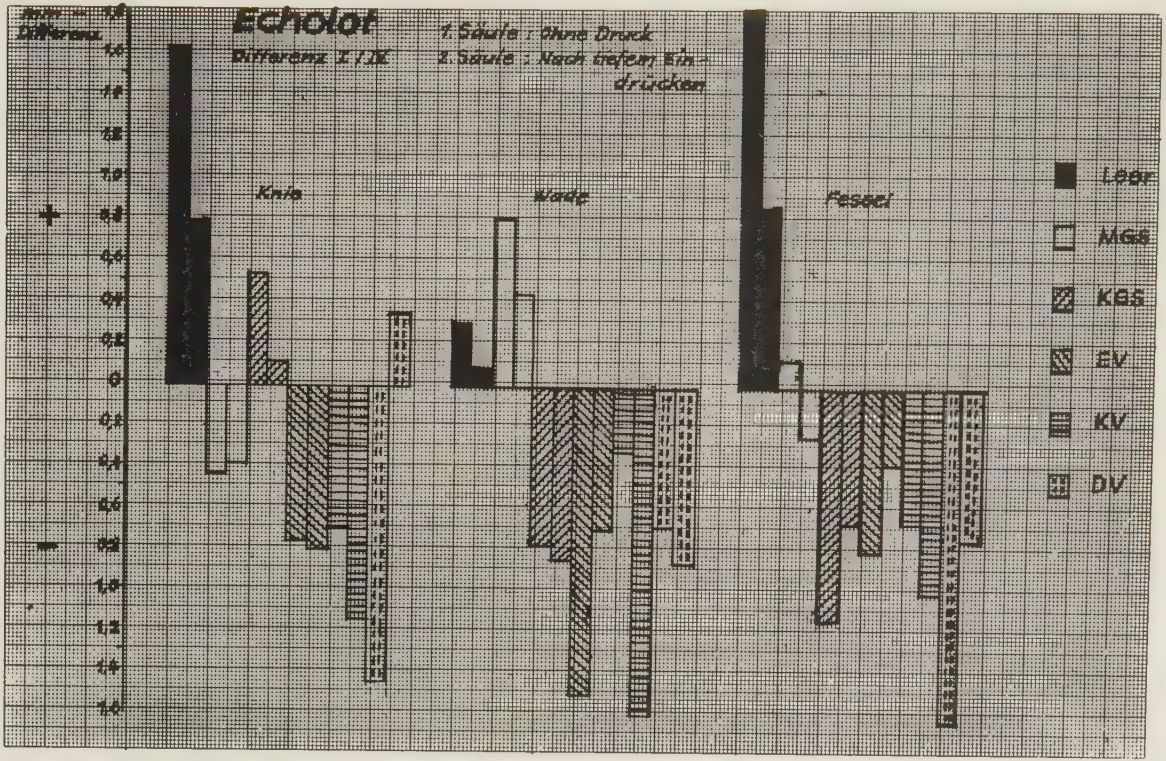

Abb. 6: Differenz der Haut-Knochen-Distanz zwischen Morgen- und Abendwert ohne und mit komprimierenden Maßnahmen bei der Berührung des Meßkopfes mit der Haut (1. Säule) und nach kräftigem Eindrücken desselben (2. Säule). (Die dabei auftretenden Unterschiede entsprechen der Eindrucktiefe.)

achtet werden muß, daß in diesem Versuch bereits getragene MGS mit neuen ungetragenen KGS verglichen wurden.

3. Elastogramm

Da die einzelnen Gruppen nicht gleichartig zusammengesetzt sind, weichen am Morgen die mittleren Ausgangswerte der Elastographie und die sich daraus ergebenden Mittelwertskurven in ihrem Verlauf und ihren Endpunkten unter sonst noch gleichen äußeren Bedingungen bereits stark voneinander ab. Sie sind daher unter sich nicht mehr sicher vergleichbar. Der Versuch, nur die absolute und prozentuale Abweichung der Abendwerte (Abschnitt IV) zu den Morgenwerten (Abschnitt I) in Beziehung zu setzen oder einen summarischen Wert für die Gesamtkurve zu bilden, mißlang ebenso, wie eine Bereinigung der Meßwerte in der Art, wie sie bei der Plethysmographie durchgeführt wurde (Bildung eines allseits verbindlichen Mittelwertes, auf welchen die Ausgangswerte prozentual bezogen und danach die nachfolgenden Einzelwerte umgerechnet werden). Teilweise überschneiden sich die Kurven. Es ist daher möglich, die allgemeine Änderungstendenz der Gewebe-Elastizität und der Vorwölbung in den einzelnen Gruppen im Vergleich zwischen Morgen und Abend nach Wegnahme der Kompression (Abschnitt I/IV) aufgrund der Mittelwertskurven zu beurteilen und zu versuchen, die dabei aufscheinende Tendenz mit den übrigen Ergebnissen, insbesondere der Ödemmessung, zu koordinieren. Die aus insgesamt 7840 Einzelmessungen gewonnenen Mittelwerte für die Gewebeelastizität und die Vorwölbung unter den verschiedenen Druckstufen sind in den Tabellen 4 a – f zusammengefaßt, die entsprechenden Mittelwertskurven in den Abbildungen 7 a und b, sowie 8 a, b und c wiedergegeben. Dabei zeigt sich, daß die Druckkurven des *Leertages,* die morgens und abends durch Messung an der Wade und Fessel ermittelt wurden, nicht wesentlich voneinander abweichen (Abb. 7 a). Nur an der Fessel fällt die Kurve am Abend etwas ab (Abb. 7 a), was im Sinne einer stärkeren Haut-Spannung bzw. -Konsistenz durch ein Ödem gedeutet werden könnte.

Wurde während des Tages ein *Maßgummistrumpf* getragen, so lag der mittlere Impressionsdruck an der Wade am Abend höher als am Morgen (Abb. 7 a), an der Fessel jedoch tiefer (Abb. 7 a), während die Vorwölbung der Haut an beiden Stellen deutlich zunahm (Abb. 8 a). Druckabfall und stärkere Vorwölbung lassen sich im Sinne einer Auflockerung des Gewebes deuten. Ob dieser durch das Eindringen eines Ödems in ein normalerweise straffes Gewebe zustande kam, oder durch das Entweichen von Flüssigkeit aus einem prallen ödematösen Gewebe, läßt sich aus den vorliegenden Kurven mit Sicherheit nicht ableiten – zumal die nachfolgenden Kurven entsprechend große Unterschiede nicht aufweisen. Die steileren Verlaufsrichtungen zeigen jedoch an, daß die Gruppe an sich eine andere Grundzusammensetzung aufweisen muß als die Leergruppe (dieselbe Feststellung könnte auch für die Gruppe mit Kreuzverband zutreffen). Die mit Echolotmessung in dieser Gruppe festgestellte Eindrücktiefe spricht ebenfalls für eine Auflockerung des Gewebes.

Nach dem Tragen eines Konfektionsgummistrumpfes ist an der Wade im Durchschnitt ein niederer Impressionsdruck notwendig, während die Vorwölbung zugenommen hat (Abb. 7 a und Abb. 8 b). An der Fessel zeigen sich am Abend ebenfalls etwas geringere Druckwerte bei praktisch unveränderter Vorwölbung (Abb. 8 b). Unter dem *Einbinden-Verband* ist die Tendenz zur Abnahme der Druckwerte am Abend auch noch vorhanden (Abb. 7 b), während die Vorwölbung deutlich zunimmt (Abb. 8 b).

Dagegen ändern sich die Mittelwerte unter den *Doppel- und Kreuzverbänden* nur noch unwesentlich (Abb. 8 c und 7 b), was zum Ausdruck bringt, daß eine Änderung des Ausgangsstatus nicht eingetreten ist und die Entstehung eines Ödems durch die Verbände verhindert wurde. Eindeutig signifikante Unterschiede konnten statistisch nicht errechnet werden, so daß das Ergebnis dieser Untersuchung nur informativ verwertet und allenfalls zur

Tab.: 4 a Leertag

Elastogramm

mm Eindrück -tiefe	Mittl. p – Gegendruck am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. p – Gegendruck am Abend (Abschnitt IV)	Differenz-Mittelwerte I / IV	= % des mittleren Morgenwertes I / IV	Mittl. relative Vorwölbung am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. relative Vorwölbung am Abend (Abschnitt IV)	Differenz d. Mittelwerte I / IV	= % der mittleren Morgenwerte I / IV
Wade:								
1	2,25	2,58	+ 0,33	+ 14,66	4,00	3,98	– 0,02	– 0,50
2	4,75	5,58	+ 0,83	+ 17,47	6,35	6,83	+ 0,48	+ 7,55
3	8,40	9,58	+ 1,18	+ 14,04	8,30	8,46	+ 0,16	+ 1,92
4	12,75	14,54	+ 1,79	+ 14,03	9,53	10,12	+ 0,59	+ 6,19
5	17,90	19,58	+ 1,68	+ 9,38	11,50	11,29	– 0,21	– 1,82
6	23,65	25,58	+ 1,93	+ 8,16	12,68	12,54	– 0,14	– 1,10
7	30,65	31,46	+ 0,81	+ 2,64	13,45	13,63	+ 0,18	+ 1,33
8	38,00	37,46	– 0,54	– 1,42	14,58	15,15	+ 0,57	+ 3,90
9	45,95	46,69	+ 0,74	+ 1,80	15,55	16,12	+ 0,57	+ 3,66
10	52,80	48,92	– 3,88	– 7,34	17,80	17,85	+ 0,05	+ 0,28
Fessel:								
1	3,10	3,04	– 0,06	– 1,93	5,15	5,07	– 0,12	– 2,33
2	7,40	7,26	– 0,14	– 1,89	9,45	8,78	– 0,67	– 7,08
3	12,70	11,43	– 1,27	– 10,00	12,43	10,26	– 2,17	– 17,45
4	18,90	19,43	+ 0,53	+ 2,80	14,20	12,50	– 1,70	– 11,97
5	26,70	27,47	+ 0,77	+ 2,88	15,88	13,96	– 1,92	– 12,09
6	36,55	36,00	– 0,55	– 1,50	17,28	15,30	– 1,98	– 11,45
7	48,45	40,22	– 8,23	– 16,98	18,45	16,64	– 1,81	– 9,81
8	61,45	49,35	– 12,10	– 19,69	19,53	17,66	– 1,87	– 9,57
9	68,83	57,67	– 11,16	– 16,21	20,84	18,77	– 2,07	– 9,93
10	74,38	72,85	– 1,53	– 2,05	21,76	19,66	– 2,10	– 9,65

Tab. 4: Elastographie: Mittlerer Gegendruck (in Pond) und mittlerer relative bei verschiedener Eindrücktiefe in Waden - und Fesselhöhe morgens und abends ohne und mit Anwendung komprimierender Maßnahmen (a: Leertag, b: MGS, c: KGS, d: EV, e: KV, f: DV).

Tab.: 4b Maßgummistrumpf

Elastogramm

mm Eindrück -tiefe	Mittl. p – Gegendruck am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. p – Gegendruck am Abend (Abschnitt IV)	Differenz-Mittelwerte I / IV	= % des mittleren Morgenwertes I / IV	Mittl. relative Vorwölbung am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. relative Vorwölbung am Abend (Abschnitt IV)	Differenz d. Mittelwerte I / IV	= % der mittleren Morgenwerte I / IV
Wade:								
1	1,80	3,32	+ 1,52	+ 84,44	3,65	6,85	+ 3,20	+ 87,67
2	4,40	5,51	+ 1,11	+ 25,22	6,50	9,55	+ 3,05	+ 46,92
3	8,10	10,13	+ 2,03	+ 25,06	9,05	11,70	+ 2,65	+ 29,28
4	12,10	16,64	+ 4,54	+ 37,52	10,70	14,63	+ 3,97	+ 37,10
5	16,50	22,76	+ 6,26	+ 27,50	12,55	15,78	+ 3,23	+ 25,73
6	22,00	26,32	+ 4,32	+ 19,22	13,40	17,26	+ 3,86	+ 28,80
7	27,60	36,78	+ 9,18	+ 33,26	14,40	18,31	+ 3,91	+ 27,15
8	35,20	50,23	+ 15,03	+ 42,69	15,50	19,45	+ 3,95	+ 25,48
9	42,70	57,71	+ 15,01	+ 35,15	16,60	20,75	+ 4,15	+ 25,00
10	49,70	65,46	+ 15,76	+ 31,71	17,60	21,39	+ 3,79	+ 21,53
Fessel:								
1	3,75	2,25	– 1,50	– 40,00	3,31	5,50	+ 2,19	+ 66,16
2	8,63	5,55	– 3,08	– 35,68	6,11	10,70	+ 4,59	+ 75,12
3	14,25	11,13	– 3,12	– 21,89	8,35	12,75	+ 4,40	+ 52,69
4	20,85	16,87	– 3,98	– 19,08	9,87	14,63	+ 4,76	+ 48,22
5	29,75	23,87	– 5,88	– 19,76	11,37	16,81	+ 5,44	+ 47,84
6	40,50	31,75	– 8,75	– 21,60	12,60	18,06	+ 5,46	+ 43,33
7	54,00	40,50	– 13,50	– 25,00	13,43	19,32	+ 5,89	+ 43,85
8	65,35	55,79	– 9,56	– 14,62	15,06	20,63	+ 5,57	+ 36,98
9	75,96	61,85	– 14,11	– 18,57	16,44	21,80	+ 5,36	+ 32,60
10	83,61	66,71	– 16,90	– 20,21	17,31	22,81	+ 5,50	+ 31,77

Tab.: 4c Konfektionsgummistrumpf

Elastogramm

mm Eindrück -tiefe	Mittl. p — Gegendruck am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. p — Gegendruck am Abend (Abschnitt IV)	Differenz-Mittelwerte I / IV	= % des mittleren Morgenwertes I / IV	Mittl. relative Vorwölbung am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. relative Vorwölbung am Abend (Abschnitt IV)	Differenz d. Mittelwerte I / IV	= % der mittleren Morgenwerte I / IV
Wade:								
1	2,69	1,92	– 0,77	– 28,62	3,77	4,00	+ 0,23	+ 6,10
2	5,53	4,50	– 1,03	– 18,62	6,38	7,21	+ 1,33	+ 20,84
3	9,23	8,08	– 1,15	– 12,45	8,65	8,63	– 0,02	– 0,23
4	14,00	11,67	– 2,33	– 16,64	10,88	11,75	+ 0,87	+ 7,99
5	18,46	16,17	– 2,29	– 12,40	12,88	13,45	+ 0,57	+ 4,42
6	26,71	21,92	– 4,79	– 17,93	14,38	14,37	– 0,01	– 0,06
7	34,42	28,00	– 6,42	– 18,65	16,04	15,79	– 0,25	– 1,55
8	40,23	35,75	– 4,48	– 11,13	17,30	16,75	– 0,55	– 3,17
9	50,38	41,46	– 8,92	– 17,70	18,23	17,62	– 0,61	– 3,34
10	59,07	51,91	– 7,16	– 12,12	18,80	18,25	– 0,55	– 2,92
Fessel:								
1	2,66	2,20	– 0,46	– 17,29	5,11	5,50	+ 0,39	+ 7,63
2	6,22	5,40	– 0,82	– 13,18	7,72	9,65	+ 1,93	+ 25,00
3	10,77	10,10	– 0,67	– 6,22	9,33	11,99	+ 2,66	+ 28,51
4	17,00	15,90	– 1,10	– 6,47	12,66	13,90	+ 1,24	+ 9,79
5	23,88	21,90	– 1,98	– 8,29	14,81	15,60	+ 0,79	+ 5,33
6	32,44	29,70	– 2,74	– 8,44	15,61	17,15	+ 1,54	+ 9,86
7	42,88	40,40	– 2,48	– 5,78	17,94	18,46	+ 0,52	+ 2,89
8	55,11	48,70	– 6,41	– 11,63	19,11	19,15	+ 0,04	+ 0,20
9	7o,22	65,60	– 4,62	– 6,57	20,28	20,00	– 0,28	– 1,38
10	83,11	77,60	– 5,51	– 6,62	21,05	21,80	+ 0,75	+ 3,56

Tab.: 4d Einbindenverband

Elastogramm

mm Eindrück -tiefe	Mittl. p – Gegendruck am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. p – Gegendruck am Abend (Abschnitt IV)	Differenz-Mittelwerte I / IV	= % des mittleren Morgenwertes I / IV	Mittl. relative Vorwölbung am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. relative Vorwölbung am Abend (Abschnitt IV)	Differenz d. Mittelwerte I / IV	= % der mittleren Morgenwerte I / IV
Wade:								
1	2,45	2,15	– 0,30	– 12,24	3,09	4,25	+ 1,16	+ 37,54
2	5,13	4,63	– 0,50	– 9,74	6,00	6,57	+ 0,57	+ 9,50
3	8,31	7,50	– 0,81	– 9,74	7,82	8,72	+ 0,90	+ 11,50
4	12,29	10,70	– 1,59	– 12,93	9,23	10,85	+ 1,62	+ 17,55
5	15,68	14,70	– 0,98	– 6,25	10,81	12,22	+ 1,41	+ 13,04
6	20,68	19,20	– 1,48	– 7,15	12,02	14,10	+ 2,08	+ 17,30
7	26,68	24,10	– 2,58	– 9,67	13,02	15,20	+ 2,18	+ 16,74
8	33,00	29,72	– 3,28	– 9,93	14,20	16,67	+ 2,47	+ 17,39
9	38,19	39,90	+ 1,71	+ 4,47	15,26	18,12	+ 2,86	+ 18,74
10	39,00	41,05	+ 2,05	+ 5,25	15,99	19,47	+ 3,48	+ 21,76
Fessel:								
1	2,96	2,20	– 0,76	– 25,67	4,51	4,95	+ 0,44	+ 9,75
2	6,87	5,07	– 1,80	– 26,20	7,58	8,61	+ 1,03	+ 13,58
3	12,06	9,07	– 2,99	– 24,79	10,13	11,54	+ 1,41	+ 13,91
4	18,89	14,13	– 4,76	– 25,19	11,92	13,80	+ 1,88	+ 15,77
5	26,67	20,14	– 6,53	– 24,48	13,61	15,00	+ 1,39	+ 10,21
6	37,54	27,40	– 10,14	– 27,01	15,24	16,63	+ 1,39	+ 9,12
7	47,71	37,19	– 10,52	– 22,04	16,44	18,92	+ 2,48	+ 15,08
8	53,90	47,46	– 6,44	– 11,94	17,25	19,76	+ 2,51	+ 14,55
9	61,50	56,19	– 5,31	– 8,63	18,10	20,92	+ 2,82	+ 15,58
10	71,66	61,08	– 10,58	– 14,76	18,69	21,80	+ 3,11	+ 16,63

Tab.: 4e Kreuzverband

Elastogramm

mm Eindrück -tiefe	Mittl. p — Gegendruck am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. p — Gegendruck am Abend (Abschnitt IV)	Differenz-Mittelwerte I / IV	= % des mittleren Morgenwertes I / IV	Mittl. relative Vorwölbung am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. relative Vorwölbung am Abend (Abschnitt IV)	Differenz d. Mittelwerte I / IV	= % der mittleren Morgenwerte I / IV
Wade:								
1	2,35	2,85	+ 0,50	+ 21,27	3,32	4,18	+ 0,86	+ 25,90
2	5,85	6,30	+ 0,45	+ 7,69	5,73	6,60	+ 0,87	+ 15,18
3	9,40	10,20	+ 0,80	+ 8,51	7,23	8,17	+ 0,94	+ 13,00
4	14,15	15,65	+ 1,50	+ 10,60	8,82	9,60	+ 0,78	+ 8,84
5	18,15	20,60	+ 2,45	+ 13,49	10,15	11,08	+ 0,93	+ 9,16
6	23,75	22,37	- 1,38	- 5,81	11,15	12,15	+ 1,00	+ 8,96
7	29,55	28,35	- 1,20	- 4,06	12,17	13,10	+ 0,93	+ 7,64
8	37,20	37,35	+ 0,15	+ 0,40	13,10	14,41	+ 1,31	+ 10,00
9	46,05	45,31	- 0,74	- 1,60	13,80	15,26	+ 1,46	+ 10,57
10	53,35	52,34	- 1,01	- 1,89	14,45	16,08	+ 1,63	+ 11,28
Fessel:								
1	3,26	3,90	+ 0,64	+ 19,63	4,44	4,47	+ 0,03	+ 0,67
2	7,68	9,25	+ 1,57	+ 20,44	6,68	7,78	+ 1,10	+ 16,46
3	13,73	15,18	+ 1,45	+ 10,56	8,36	9,76	+ 1,40	+ 16,74
4	21,15	22,01	+ 0,86	+ 4,06	10,21	11,29	+ 1,08	+ 10,57
5	29,05	30,18	+ 1,13	+ 3,88	11,68	12,42	+ 0,74	+ 6,33
6	38,05	39,73	+ 1,68	+ 4,41	12,92	13,39	+ 0,47	+ 3,63
7	48,39	49,29	+ 0,90	+ 1,85	14,05	14,31	+ 0,26	+ 1,85
8	61,31	58,39	- 2,92	- 4,76	15,13	15,56	+ 0,43	+ 2,84
9	70,21	63,94	- 6,27	- 8,93	16,07	16,30	+ 0,23	+ 1,43
10	77,26	71,01	- 6,25	- 8,08	16,97	16,41	- 0,56	+ 3,29

Tab.: 4 f Doppelverband

Elastogramm

mm Eindrück -tiefe	Mittl. p – Gegendruck am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. p – Gegendruck am Abend (Abschnitt IV)	Differenz-Mittelwerte I / IV	= % des mittleren Morgenwertes I / IV	Mittl. relative Vorwölbung am Morgen (Abschnitt I)	Mittl. relative Vorwölbung am Abend (Abschnitt IV)	Differenz d. Mittelwerte I / IV	= % der mittleren Morgenwerte I / IV
Wade:								
1	1,92	2,30	+ 0,38	+ 19,79	4,25	4,50	+ 0,25	+ 5,88
2	4,39	5,48	+ 1,09	+ 24,82	7,43	7,48	+ 0,05	+ 0,67
3	7,82	9,09	+ 1,27	+ 16,24	10,54	9,82	– 0,72	– 6,83
4	11,25	13,09	+ 1,84	+ 16,35	12,81	11,99	– 0,82	– 6,40
5	16,22	18,21	+ 1,99	+ 12,26	14,34	13,52	– 0,82	– 5,71
6	21,99	23,04	+ 1,05	+ 4,77	15,67	14,87	– 0,80	– 5,10
7	28,09	29,76	+ 1,67	+ 5,94	16,66	15,84	– 0,82	– 4,92
8	34,64	36,26	+ 1,62	+ 4,67	17,65	16,95	– 0,70	– 3,96
9	38,29	44,56	+ 6,27	+ 16,37	18,54	17,78	– 0,76	– 4,89
10	45,27	50,44	+ 5,17	+ 11,42	19,14	18,37	– 0,77	– 4,02
Fessel:								
1	2,38	2,95	+ 0,57	+ 23,94	4,90	5,57	+ 0,67	+ 13,67
2	6,04	7,15	+ 1,11	+ 18,37	8,76	8,67	– 0,09	– 1,02
3	10,28	12,45	+ 2,17	+ 21,10	11,21	11,57	+ 0,36	+ 3,21
4	15,76	19,30	+ 3,54	+ 22,46	14,09	13,45	– 0,64	– 4,54
5	21,66	25,40	+ 3,74	+ 17,26	15,90	14,90	– 1,00	– 6,28
6	28,95	33,90	+ 4,95	+ 17,09	17,07	16,20	– 0,87	– 5,09
7	39,24	44,05	+ 4,81	+ 12,25	18,11	17,70	– 0,41	– 2,26
8	47,33	56,50	+ 9,17	+ 19,37	19,50	18,67	– 0,83	– 4,25
9	55,75	70,15	+ 14,40	+ 25,82	20,54	19,42	– 1,12	– 5,45
10	62,45	75,23	+ 12,78	+ 20,46	21,45	20,60	+ 0,85	+ 3,96

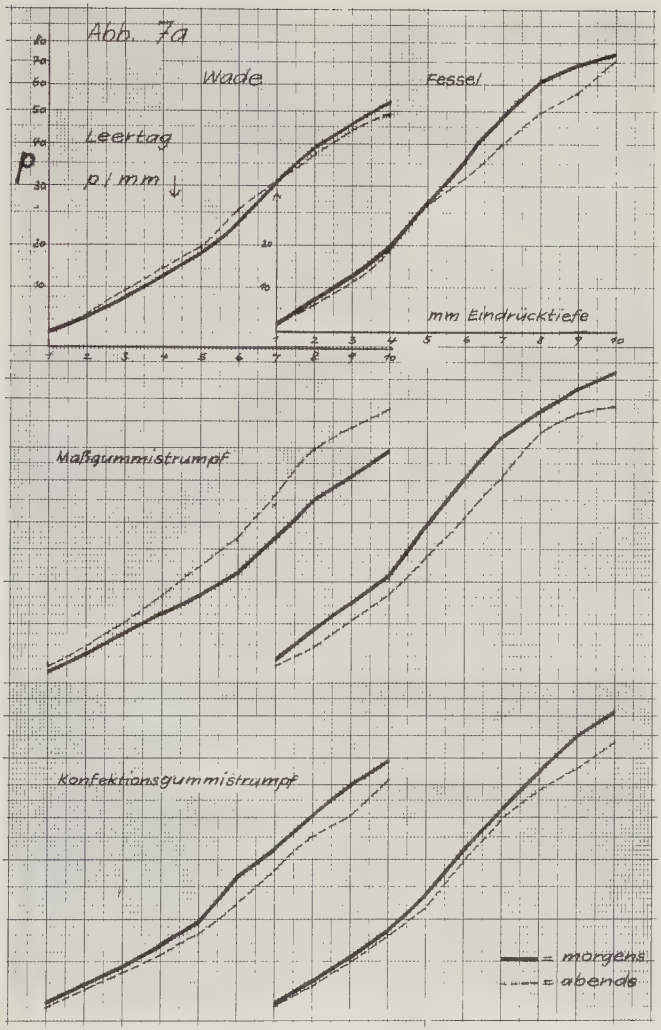

Abb. 7: Morgendlicher und abendlicher mittlerer Auflagedruck in Pond (Ordinate) bei verschiedener Eindrücktiefe (Abszisse) an Wade und Fessel ohne und nach Anwendung komprimierender Maßnahmen.

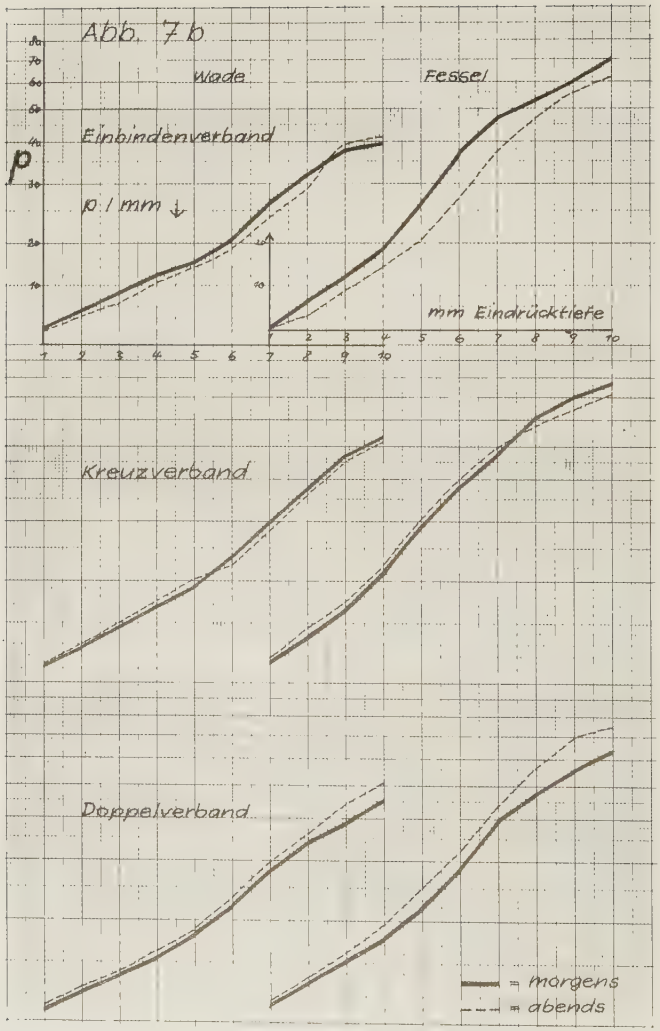
Abb. 7b
Wade
Fessel
Einbindenverband
p
p / mm ↓
mm Eindrücktiefe
Kreuzverband
Doppelverband
= morgens
= abends

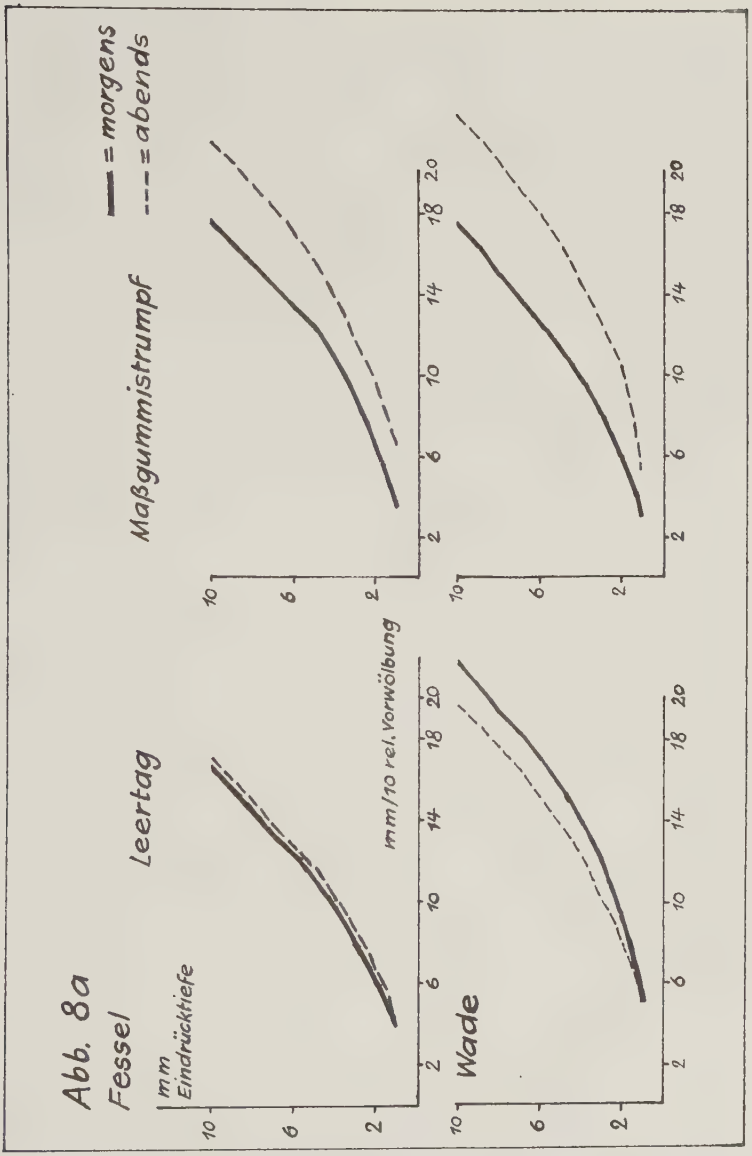

Abb. 8: Mittlere relative Vorwölbung (Abszisse) bei verschiedener Eindrücktiefe (Ordinate) an Wade und Fessel morgens und abends ohne und mit Anwendung komprimierender Maßnahmen.

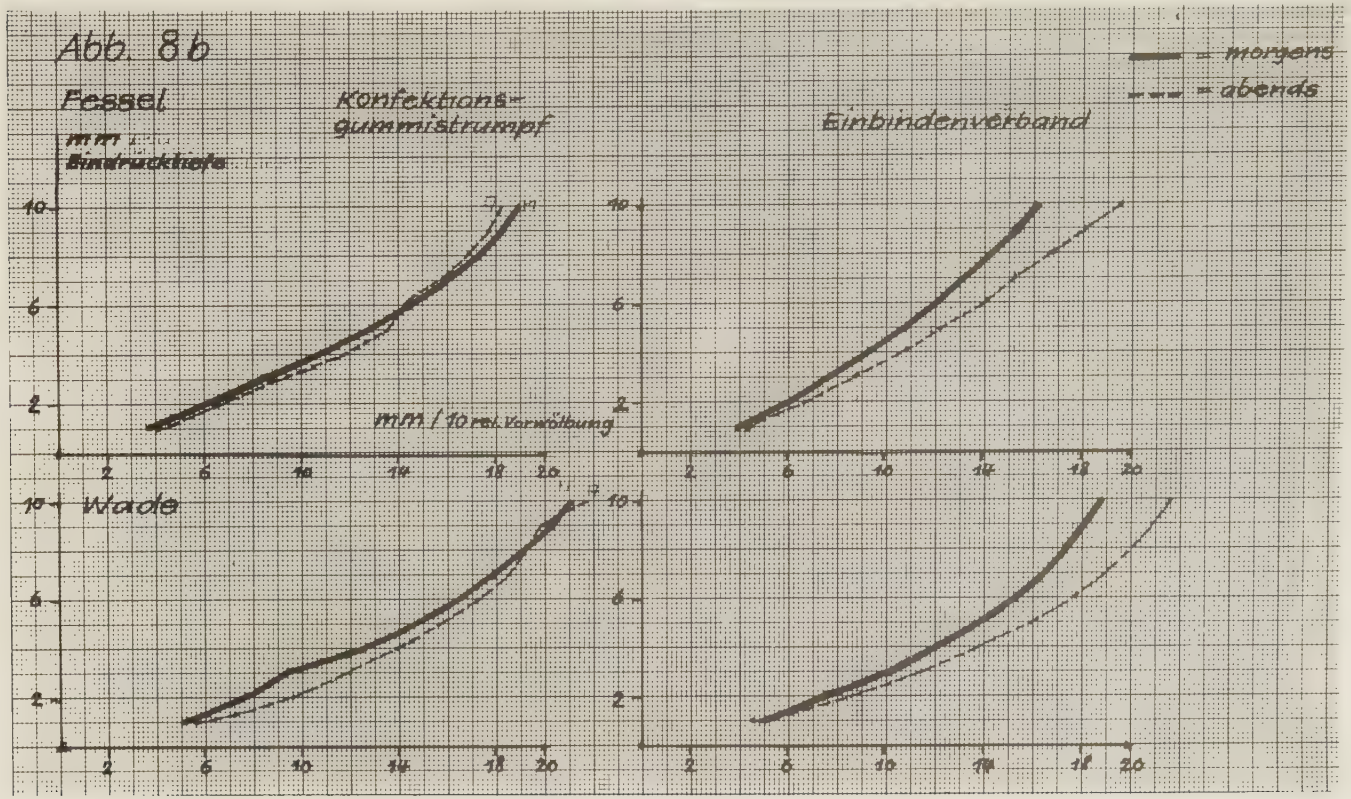
Abb. 8b
Fessel
mm Eindrucktiefe
Konfektions-gummistrumpf
Einbindenverband
= morgens
= abends
mm / 10 rel. Vorwölbung
Wade
10
6
2
2
6
10
14
18
20

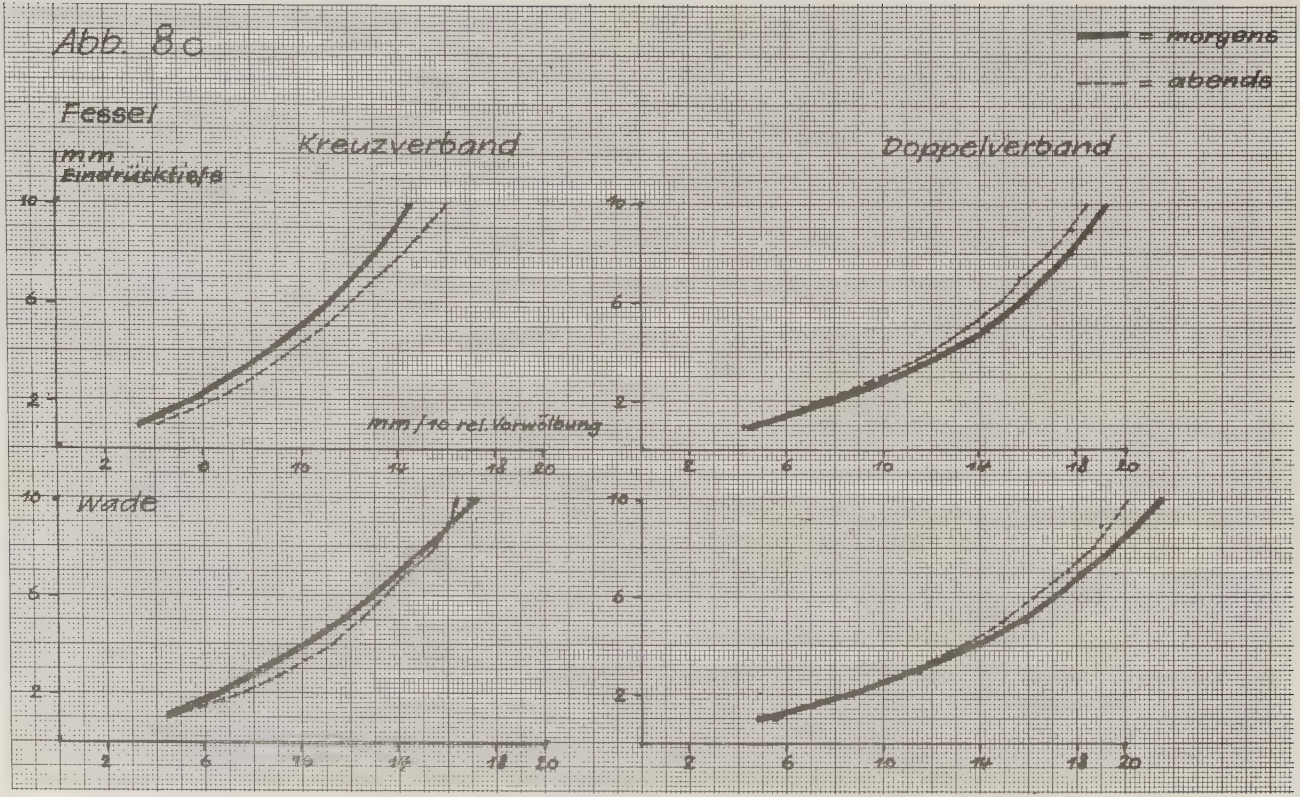
Abb. 8c
morgens
abends
Fessel
Kreuzverband
Doppelverband
in mm Eindrücktiefe
mm / 10 rel. Vorwölbung
Wade

ergänzenden Erklärung anderer Untersuchungsergebnisse herangezogen werden kann.

4. Segmentplethysmographie

Die Kontrolle der Ausdehnungsfähigkeit der Wade unter den festgelegten Staudrucken von 20, 40 und 80 mm Hg wurde in allen Untersuchungsabschnitten vorgenommen. Damit ergaben sich verschiedene Vergleichsmöglichkeiten, die erlaubten,

1. den unmittelbaren Effekt einer Kompressions-Methode festzustellen (Abschnitt I/II),

2. die Änderungen während der Tragedauer nachzuweisen (Abschnitt II/III) und

3. den Endeffekt der Maßnahme zu kontrollieren (Abschnitt I/IV).

Durch das einheitliche Beziehen der Volumenzunahme auf 100 ml Weichteilgewebe (WG) werden zwar absolute Werte erhalten, um jedoch bindende Vergleiche anstellen zu können, war es notwendig, diese absoluten Zahlen nochmals umzurechnen: Im Laufe der Untersuchungen wurden im Abschnitt I (morgendlicher Leerwert) für jede Staustufe (20, 40 und 80 mm Hg) insgesamt jeweils 98 Einzelwerte ermittelt. Aus diesen 98 Einzelwerten wurde nun gesondert für jede Staustufe ein „berichtigter", „idealer" Mittelwert gebildet und jeder Einzelwert prozentual darauf bezogen.

Sodann wurden alle folgenden Einzelmessungen der Abschnitte II – IV jeweils um den Prozentsatz berichtigt, um den der einzelne morgendliche Leerwert des Abschnittes I von dem berichtigten Mittelwert der betreffenden Staustufe abwich. Damit sind sämtliche Messungen der Abschnitte II bis IV auf den berichtigten Mittelwert ihrer Staustufe bezogen und somit absolut vergleichbar.

Tab 5a Vor und nach Anlage einer Kompression am Morgen

I / II	n	20 mm Hg				% des berichtigten Leerwertes	40 mm Hg				% des berichtigten Leerwertes	80 mm Hg				% des berichtigten Leerwertes
		$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu Leer I		$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu Leer I		$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu Leer I	
Leer I	98	1,380	0,694	0,070			2,152	0,871	0,088			3,862	1,417	0,143		
MGS	10	0,972	0,521	0,164	– 0,408	53,406	1,629	0,407	0,126	– 0,523	75,697	3,348	0,417	0,130	– 0,514	86,690
KGS	10	1,739	0,336	0,104	+ 0,359	126,014	2,313	0,486	0,151	+ 0,161	107,481	4,040	0,794	0,250	+ 0,178	104,609
EV	20	0,101	0,044	0,000	– 1,279	7,319	0,258	0,089	0,000	– 1,894	11,988	1,486	0,207	0,044	– 2,376	38,477
KV	20	0,032	0,000	0.000	– 1,348	2,318	0,102	0,077	0,000	– 2,050	4,739	0,584	0,256	0,054	– 3,278	15,121
DV	20	0,061	0,063	0,000	– 1,319	4,420	0,105	0,083	0,000	– 2,047	4,879	0,403	0,209	0,044	– 3,459	10,435

Tab 5b Am Abend ohne Kompression und nach Abnahme derselben

I / IV	n	20 mm Hg				% des berichtigten Leerwertes	40 mm Hg				% des berichtigten Leerwertes	80 mm Hg				% des berichtigten Leerwertes
		$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu Leer I		$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu Leer I		$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu Leer I	
Leer IV	18	1,488	0,814	0,161	+ 0,108	107,826	2,298	1,008	0,187	+ 0,146	106,784	4,569	1,429	0,264	+ 0,707	118,306
MGS	10	1,307	0,466	0,144	– 0,073	94,710	1,999	0,459	0,144	– 0,153	92,890	2,929	0,570	0,178	– 0,933	75,841
KGS	10	1,884	1,314	0,414	+ 0,504	136,521	2,650	0,417	0,130	+ 0,498	123,141	4,146	1,218	0,384	+ 0,284	107,353
EV	20	1,043	0,917	0,417	– 0,337	75,579	2,117	0,862	0,192	– 0,035	98,374	3,630	0,745	0,164	– 0,232	93,992
KV	20	1,422	0,626	0,137	+ 0,042	103,043	2,151	0,929	0,207	– 0,001	99,953	3,708	1,289	0,288	– 0,154	96,012
DV	20	1,557	0,775	0,173	+ 0,177	112,826	2,511	0,916	0,202	+ 0,359	116,682	4,220	1,270	0,282	+ 0,358	109,269

Tab. 5: Plethysmographie: Mittlere, berichtigte Volumenzunahme der Wade mit Standardabweichung und Streuung des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ (unter Staudrucken von 20, 40 und 80 mm Hg).

Tab.: 5c Vor Abnahme der Kompression am Abend

I / III	n	20 mm Hg					40 mm Hg					80 mm Hg				
		$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu Leer I	% des berichtigten Leerwertes	$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu Leer I	% des berichtigten Leerwertes	$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu Leer I	% des berichtigten Leerwertes
MGS	10	1,083	0,370	0,114	– 0,297	78,478	1,655	0,512	0,161	– 0,497	76,905	3,753	0,717	0,225	– 0,109	97,177
KGS	10	1,316	0,570	0,178	– 0,064	95,362	2,172	0,460	0,144	+ 0,020	100,929	3,951	0,704	0,221	+ 0,089	102,304
EV	20	0,433	0,242	0,044	– 0,947	31,376	0,890	0,380	0,083	– 1,262	41,356	2,407	0,412	0,089	– 1,455	62,325
KV	20	0,213	0,077	0,000	– 1,167	15,434	0,618	0,309	0,063	– 1,534	28,717	1,890	0,755	0,167	– 1,972	48,938
DV	20	0,201	0,122	0,000	– 1,179	14,565	0,477	0,268	0,054	– 1,675	22,165	1,682	0,514	0,114	– 2,180	43,552

Tab.: 5d Vergleich nach Anlage und vor Abnahme der Kompression

II / III	n	20 mm Hg					40 mm Hg					80 mm Hg				
		$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu II	% des Abschnittes II	$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu II	% des Abschnittes II	$\bar{X}$	S	$S_{\bar{x}}$	△ zu II	% des Abschnittes II
MGS					+ 0,111	111,419				+ 0,026	101,596				+ 0,405	112,096
KGS					– 0,423	75,675				– 0,141	93,904				– 0,089	97,797
EV					+ 0,332	428,712				+ 0,632	344,961				+ 0,921	161,978
KV					+ 0,181	665,625				+ 0,516	605,882				+ 1,306	323,630
DV					+ 0,140	329,508				+ 0,372	454,285				+ 1,279	417,369

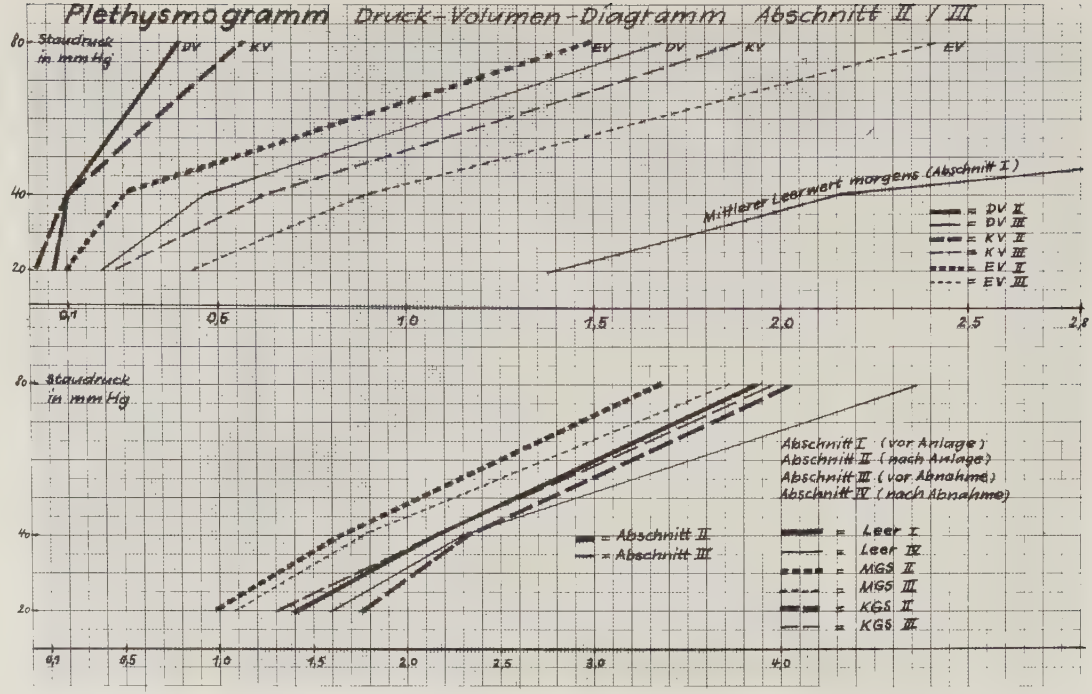

Abb. 9: Druck-Volumen-Diagramme nach Anlage verschiedener Kompressionsmaßnahmen am Morgen und vor der Abnahme am Abend (berichtigte Mittelwerte).

a) Berichtigter Leerwert (Abschnitt I)

Im Laufe sämtlicher Leerversuche nimmt die Wade am Morgen unter einem Staudruck von 20 mm Hg um einen Mittelwert von 1,380 ml/100 ml WG zu (Standardabweichung s = 0,694, Streuung des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ = 0,070), unter einem Staudruck von 40 mm Hg im Mittel um 2,152 ml/100 ml WG (s = 0,871, $s_{\bar{x}}$ = 0,088) und unter einem Staudruck von 80 mm Hg im Mittel um 3,862 ml/100 ml WG (s = 1,417, $s_{\bar{x}}$ = 0,143 – s. Abb. 5 a).

b) Nach Anlegen der Kompression (Abschnitt II)

Nach dem Anziehen eines Maßgummistrumpfes nahm die Wade bei 10 Beinen unter einem Staudruck von 20 mm Hg im Durchschnitt nur noch um 0,972 ml/100 ml WG (s = 0,521, $s_{\bar{x}}$ = 0,164) zu, (diese Zahlen beziehen sich immer auf den berichtigten Leerwert), bei einem Staudruck von 40 mm Hg betrug die Zunahme 1,629 ml/100 ml WG (s = 0,407, $s_{\bar{x}}$ = 0,126), bei einem Staudruck von 80 mm Hg 3,348 ml/100 ml WG (s. Tab. 5 a).

Die Differenz dieser „berichtigten" Mittelwerte zum berichtigten Leerwert betragen für die verschiedenen Staustufen demnach – 0,408 ml/100 ml WG, – 0,532 ml/100 ml WG und – 0,514 ml/100 ml WG (entsprechend 53,4, 75,7 und 86,7 % des berichtigten mittleren Leerwertes der jeweiligen Staustufe, in Tab. 5 a unter „% des berichtigten Leerwertes" aufgeführt). In der gleichen Weise wurden die entsprechenden Differenzen für den Maßgummistrumpf, für den Einbinden-Verband, den Kreuzverband und den Doppelverband errechnet.

Abb. 9 zeigt, in welchem Maße die Verbände sich unter den verschiedenen Staudrucken ausdehnen. Am wenigsten dehnbar ist danach der Doppelverband, knapp gefolgt vom Kreuzverband, während der Einbinden-Verband etwa in der Mitte zwischen den Zweibinden-Verbänden (KV,DV) und den Kompressionsstrümpfen liegt.

Nach Anlegen eines *Maßgummistrumpfes* ist die Kurve im Druck-

Volumen-Diagramm gegenüber der Leerwertskurve nur wenig nach links und parallel dazu verschoben (Abb. 9). Die mittlere Ausdehnung des Beines unter einem Maßgummistrumpf ist demnach nur mäßig, aber in allen Staustufen in gleichem Ausmaß eingeengt.

Daß das mittlere Druck-Volumen-Diagramm des *Konfektionsgummistrumpfes* demgegenüber etwas nach rechts verschoben ist, kann (wie oben schon angeführt) nur dadurch erklärt werden, daß die Zusammensetzung dieser Gruppe rein klinisch war und nicht der des gesamten Krankengutes entspricht (in dieser Gruppe liegen drei Ausgangswerte bei 33,2, 37,8 und 56,2 % des mittleren Leerwertes, so daß die folgenden Meßwerte auf das Doppelte und Dreifache korrigiert werden mußten). Im Gruppendurchschnitt betragen die Ausgangswerte immer noch ca. 90 % des berichtigten Leerwertes, so daß sich durch die Berichtigung noch um 10 % zu hohe Werte ergeben konnten.

Die verschiedenen *Verbände* schränkten die Ausdehnung der Wade unter einem Stauungsdruck dagegen sehr wirksam ein (Abschnitt II). Die Volumenzunahme ist also gegenüber dem Leerversuch (ohne Kompression) verschwindend klein geworden (s. Tab. 5 a unter „% des berichtigten Leerwertes"). So beträgt die Volumenzunahme bei einem Staudruck von 20 mm Hg je nach Verband 7 % (EV), 2 % (KV) bzw. 4 % (DV) des ursprünglichen berichtigten Mittelwertes. Bei einem Staudruck von 40 mm Hg nimmt das Volumen um 12 % beim EV und je 5 % beim KV und DV zu. Bei einem Staudruck von 80 mm Hg liegen die Werte für den EV bei 38 %, für den KV bei 15 % und für den DV bei 10 % (s. Tab. 5 a).

Im Druck-Volumen-Diagramm rücken die Mittelwertskurven weit nach links (Abb. 9). Aus der Verschiebung ihres Ansatzpunktes auf der Abszisse bei 20 mm Hg ist zu schließen, daß der Andruck im Vergleich zu den Kompressionsstrümpfen wesentlich größer ist. Die Verbände mit zwei Binden dürften dem mit einer Binde etwa um das Dreifache überlegen sein. Der stärkste Andruck wird vom Kreuzverband ausgeübt.

Beachtlich ist, daß der Verlauf der Dehnungskurven mit zunehmendem Andruck in den niederen Staustufen immer steiler wird. Es hat sogar den Anschein, als ob auch dabei eine gewisse Proportionalität bestünde (Vergl. auch w. u. die Verlaufsrichtung im Untersuchungsabschnitt III, wo sich die Zweibinden-Verbände dieser Relation einfügen). In höheren Staubereichen werden alle Kurven flacher, so daß in der 40 mm-Stufe ein Knick auftritt. Die Dehnungskurve des Einbinden-Verbandes verläuft sogar mit der des berichtigten Leerwertes fast parallel, so daß in diesen hohen Staubereichen nur noch ein quantitativer, aber kein qualitativer Unterschied zur Dehnungscharakteristik der Haut zu bestehen scheint. Die Dehnungsgrenze wird bei dieser Stauung offenbar noch nicht erreicht.

Das Auftreten dieses Knicks in der 40 mm Hg-Stufe und der Übergang in das Dehnungsmuster der Haut bei höherem Staudruck läßt möglicherweise noch einen indirekten Schluß auf den Andruck zu: Unterhalb der 40 mm Hg-Stufe vermögen die Verbände die Ausdehnung der Waden wirksam zu beeinträchtigen. Oberhalb dieser Stufe ist dieser Widerstand aber überwunden und die Waden dehnen sich in der gleichen Weise aus wie ohne Verband, nur mit dem Unterschied, daß sie (entsprechend dem Andruck) insgesamt weniger Volumen aufnehmen als ohne Verband (Parallelverschiebung der Kurve nach links). Die Kompression der Weichteile ist dabei allerdings noch zu berücksichtigen.

c) Vor Abnahme der Kompression (Abschnitt III)

Nachdem die Kompressionsstrümpfe und -verbände einen vollen Tag getragen worden waren, wurde am Abend nochmals ein Plethysmogramm über der Kompression aufgenommen. Es sollte damit kontrolliert werden, in welchem Umfange die Kompressionen nachgegeben hatten, sei es durch Verrutschen oder durch Nachlassen der Bindenelastizität bzw. durch Überdehnung. In diese Messung geht allerdings auch der Effekt einer Ödemausschwemmung ganz wesentlich mit ein. Die in Tabelle 5 c zusammengefaßten Werte geben wiederum die bereinigte mittlere Volumenzunahme unter den verschiedenen komprimierenden Maßnahmen und bei

verschiedenen Druckstufen an (wie in Tab. 5 a = I/II), ferner die Differenz zum berichtigten Leerwert ohne Verband (Δ zu Leer I) und das prozentuale Verhältnis dieses gefundenen Mittelwertes zum berichtigten Leerwert (% des berichtigten Leerwertes). Aus Vergleichsgründen wurde ferner die Differenz zum analogen Wert der Messung II errechnet (Tab. 5 d: Δ zu II) und das prozentuale Verhältnis zu diesem. Die letzte Zahl gibt also an, um wieviel % sich die Ausdehnung der Wade am Abend gegenüber der gemessenen Ausdehnung am Morgen nach Anlage der Kompression verändert hatte (Tab. 5 d).

Die *Kompressionsstrümpfe nach Maß* dehnten sich am Abend nur wenig stärker als am Morgen. Allerdings verläuft die Kurve im Druck-Volumen-Diagramm etwas flacher, so daß auch eine etwas stärkere Nachgiebigkeit des Strumpfgewebes nicht ausgeschlossen werden kann (nicht gezeichnet).

Die gleiche Feststellung gilt auch für den *Konfektionsstrumpf*. Die Kurve ist gering nach links verschoben, was durch das etwas stärkere Ödem bedingt sein mag.

Sämtliche *Verbände* haben im Laufe des Tages „nachgegeben". In der niederen Druckstufe (20 mm Hg) werden um 0,3 (EV) bzw. 0,18 (KV) und 0,14 (DV) ml/100 ml WG, in den hohen (80 mm Hg) um 0,9 (EV), 1,3 (KV) und 1,28 (DV) ml/100 ml WG mehr als am Morgen aufgenommen (Tab. 5 d). Dies bedeutet, daß die Druckvolumenkurven flacher verlaufen und sich den Dehnungsverhältnissen des berichtigten Leerwertes stärker annähern, allerdings unter Beibehaltung des oben beschriebenen Knicks (Abb. 9). Die qualitative Dehnbarkeit bei weiter nach rechts gerichtetem Anfangspunkt der Druckvolumenkurve (und damit vermindertem Andruck) liegt so ebenfalls zwischen den Morgenwerten und der berichtigten Leerwertskurve. Die Messungen nach Abnahme der Verbände (s. u.) bestätigen, daß tatsächlich Ödem ausgepreßt wurde. Dies dürfte auch der Hauptgrund für die veränderten Meßwerte und Kurvenläufe im Druck-Volumen-Diagramm sein. Alle Verbände hatten ihre Form bewahrt, so daß eine veränderte Deh-

nungscharakteristik nicht weiter diskutiert zu werden braucht. Prozentual wurde am Abend im Vergleich zu den Morgenwerten nach Anlage der Kompression bei einem Stau von 20 mm Hg unter dem Einbinden-Verband 4mal so viel, im Doppelverband über 3mal und im Kreuzverband sogar 6mal so viel Volumen aufgenommen (Tab. 5 d). In den höheren Staustufen werden diese Verhältnisse beim Einbinden-Verband und Kreuzverband kleiner, beim Doppelverband jedoch größer.

Bei einem Staudruck von 80 mm Hg beträgt das Verhältnis noch etwa 1 : 1,5 für den EV, 1 : 3 für den KV und 1 : 4 für den DV. Unter dem einfachen und dem Kreuzverband haben die Unterschenkel in den hohen Staustufen also relativ weniger Blut gespeichert als unter dem Doppelverband.

d) Nach Abnahme der Kompression (Abschnitt IV)

Im Leerversuch wurde am Abend in allen Druckstufen mehr gespeichert als am Morgen (s. Tab. 5 b und Abb. 9), und zwar auch relativ um so mehr, je höher der Staudruck war. So ergeben sich bei einer Staustufe von 20 und 40 mm Hg je 107 %, bei 80 mm Hg eine Ausdehnung von 118 % des Morgenwertes.

Demgegenüber war die Blutaufnahme am Abend kleiner, wenn während des Tages ein Kompressionsstrumpf oder -verband getragen wurde. Wenn die Unterschiede auch nicht groß sind, so fällt doch auf, daß in allen Staustufen die Blutaufnahme am Abend um so stärker reduziert war, je schwächer die Kompression war (Tab. 5 b und Abb. 10). Eine Ausnahme machte lediglich der Konfektionsstrumpf. Mit dem antiödematösen Effekt läßt sich dieses Verhalten im Hinblick auf die Leerwerte nicht ohne weiteres erklären (vergl. S. 57). Möglicherweise haben sich die Unterschenkelvenen unter einer schwächeren Kompression besser tonisiert als unter einer stärkeren. Unter dieser Voraussetzung würde ein bezeichnendes Licht auf den therapeutischen Wert einer medikamentösen tonisierenden Wirkung geworfen im Hinblick auf die Entwicklung einer chronisch-venösen Insuffizienz, aber auch einer

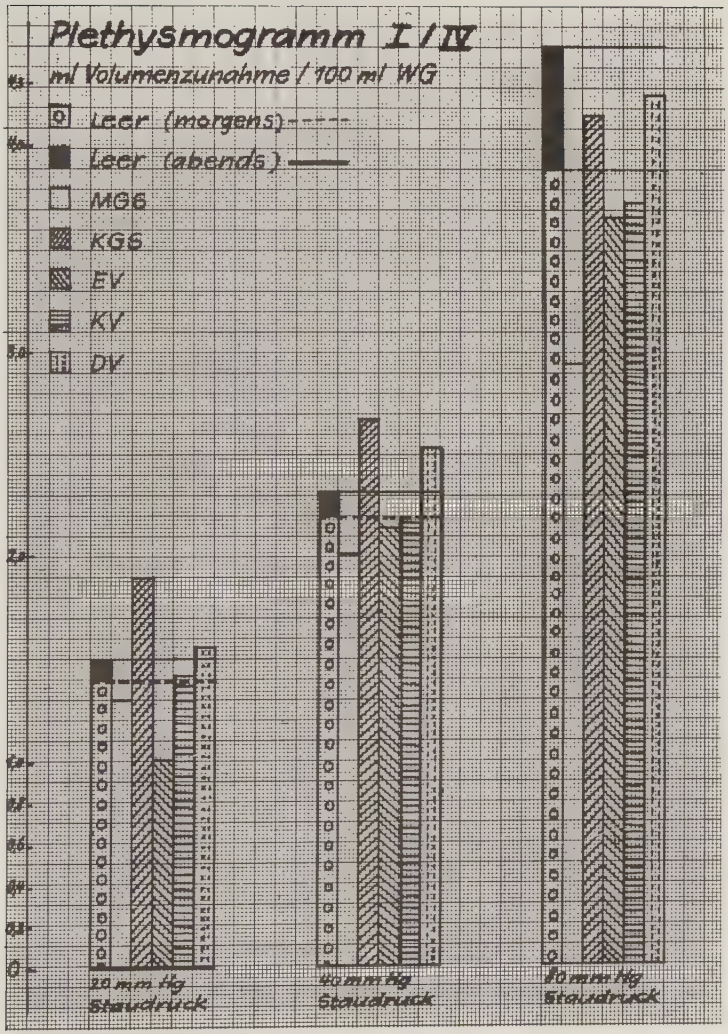

Abb. 10: Volumenzunahme der Wade nach Abnahme der komprimierenden Maßnahmen im Vergleich zum Morgen (vor der Anlage) bzw. zum Leerversuch (ohne Kompression).

sekundären Varikose. Tonisierende Wirkungen einer Therapie einerseits und Ödemschutzwirkung andererseits gehen offenbar nicht parallel.

5. Kompritest

Diese Messung sollte lediglich – im Verein mit den übrigen Meßmethoden – einer groben Orientierung dienen. Da von distal nach proximal gemessen wurde, befand sich die Zelluloidunterlage nach der letzten morgendlichen Messung schon fast am proximalen Ende des Verbandes und konnte deshalb während des Tages nicht in ihrer Lage unter dem Verband gelassen werden. Besondere Schwierigkeiten ergaben sich bei der abendlichen Messung dann, wenn die Verbände noch sehr straff saßen. Bei der Einbringung der Zelluloidunterlage unter den Verband darf der Sitz des Verbandes nicht beeinträchtigt werden. In dieser Untersuchungsreihe gelang dieses nur mit Vorbehalt in einigen Fällen. Bei den stark komprimierenden Verbänden (KV und DV) war es sogar teilweise unmöglich, die Zelluloidunterlage zwischen die mediale Tibiakante und den Verband vorschriftsmäßig einzuführen. Diese Fälle mußten, um reine Vergleichsgruppen zu erhalten, ausgeschieden werden.

Unter den *angemessenen Kompressionsstrümpfen* bedurfte es am Morgen bei ansteigenden Druckwerten unterhalb des Knies gemessen eines durchschnittlichen Ballondruckes von 48,2 mm Hg, um den Strumpf 1,5 mm von der Unterlage abzuheben, an der Wade von 54,6 mm Hg und an der Fessel von 63,1 mm Hg. Der Andruck nimmt also von der Fessel bis zum Knie gleichmäßig ab (s. Tab. 6 a und Abb. 11).

Die entsprechenden Werte unter dem *Konfektionsstrumpf* liegen mit 58,86, 58,33 und 62,22 mm Hg nur wenig höher, zeigen aber gleichzeitig einen ungünstigen Druckgradienten, obwohl es sich in allen Fällen um völlig neue Strümpfe handelt. Der notwendige Druck, der zu der erforderlichen Abhubhöhe des *Einbinden-Verbandes* führt, ist im Durchschnitt etwa 3- bis 4mal höher als bei

Tab.: 6a Kompritest bei steigendem Ballondruck

Knie	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Morgen Abschnitt II	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Abend Abschnitt III	Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
MGS	48,220	50,384	+ 2,164	+ 4,487
KGS	58,859	58,077	- 0,782	- 1,328
EV	131,875	108,498	- 23,386	- 17,733
KV	241,667	132,778	- 108,889	- 45,057
DV	287,998	127,500	- 160,498	- 55,728

Tab.:6 b

Wade	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Morgen Abschnitt II	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Abend Abschnitt III	Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
MGS	54,600	53,077	- 1,523	- 2,789
KGS	58,334	70,384	+ 17,050	+ 29,228
EV	146,500	123,500	- 23,000	- 15,699
KV	313,998	205,000	- 108,998	- 34,712
DV	298,998	200,000	- 98,998	- 33,109

Tab.: 6c

Fessel	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Morgen Abschnitt II	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Abend Abschnitt III	Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
MGS	63,060	50,615	- 12,445	- 19,735
KGS	62,222	77,692	+ 15,470	+ 24,862
EV	214,000	179,167	- 34,833	- 16,277
KV	357,143	264,000	- 93,143	- 26,080
DV	379,375	261,250	- 118,125	- 31,136

Tab. 6: Kompritest: Mittlere Abhubdrucke unterhalb des Knies (a, d), an der Wade (b, e) und Fessel (c, f) nach der Anlage und vor der Abnahme verschiedener komprimierender Maßnahmen bei steigendem (a – c) und fallendem (d – f) Ballondruck.

Kompritest– bei fallendem Ballondruck

Tab.: 6d

Knie	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Morgen Abschnitt II	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Abend Abschnitt III	Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
MGS	26,154	28,631	+ 2,477	+ 9,470
KGS	25,909	24,167	– 1,742	– 6,723
EV	60,000	41,000	– 19,000	– 31,666
KV	108,750	46,111	– 62,639	– 57,599
DV	105,000	55,000	– 50,000	– 47,619

Tab.: 6e

Wade	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Morgen Abschnitt II	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Abend Abschnitt III	Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
MGS	28,462	31,131	+ 2,669	+ 9,377
KGS	27,273	27,500	+ 0,277	+ 1,015
EV	66,500	45,455	– 21,045	– 31,646
KV	152,500	62,500	– 90,000	– 59,016
DV	126,998	78,000	– 48,998	– 38,581

Tab.: 6f

Fessel	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Morgen Abschnitt II	Mittl. Abhubwert in mm Hg am Abend Abschnitt III	Differenz der Mittelwerte	= % des mittl. Morgenwertes
MGS	35,287	35,769	+ 0,482	+ 1,365
KGS	30,455	35,834	+ 5,379	+ 17,662
EV	78,000	84,167	+ 6,167	+ 7,906
KV	182,500	80,000	– 100,500	– 55,068
DV	140,000	81,250	– 58,750	– 41,964

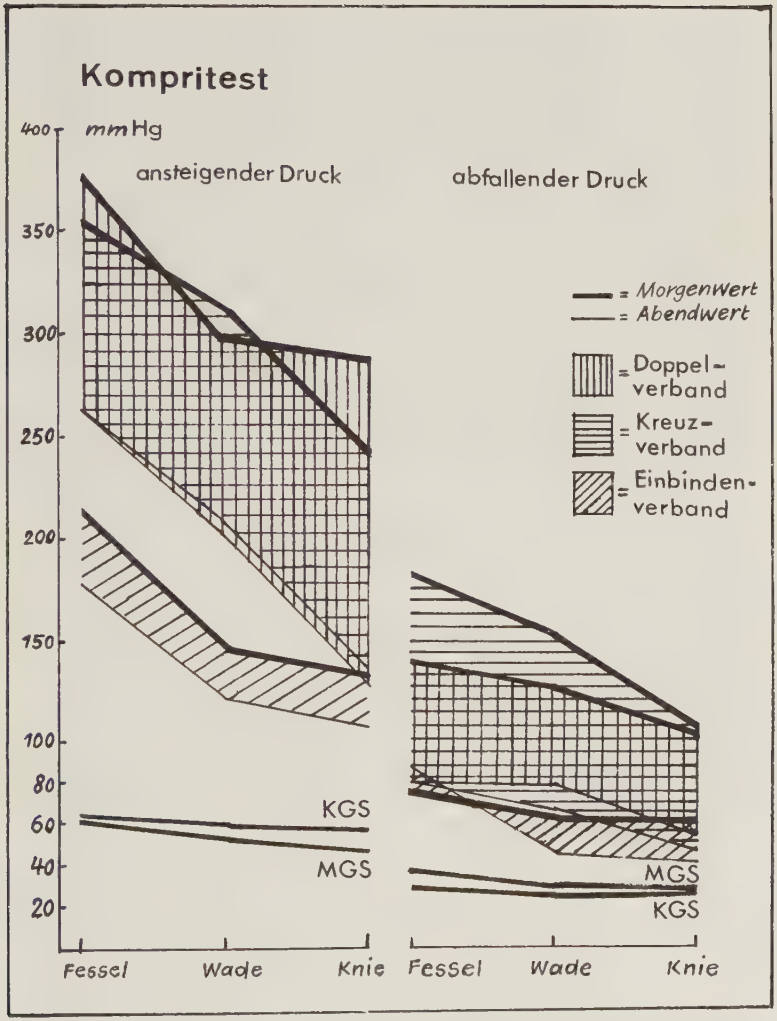

Abb. 11: Mittlere Abhubdrucke im Kompritest: Die obere Kurve einer Verbandsmethode stellt jeweils den durchschnittlichen Morgenwert, die untere den notwendigen Druck am Abend dar, um den Verband um 1,5 mm von der Unterlage abzuheben.
Linke Hälfte: Angezeigte Druckwerte beim Aufpumpen der Druckkammer, rechte beim Ablassen derselben.

Kompressionsstrümpfen. Er steigt sogar auf das 5- bis 6fache, wenn *zwei Binden* (KV, DV) verwendet werden. Damit liegt der einfache Verband hinsichtlich seiner Kompressionswirkung wiederum in der Mitte zwischen den Zweibinden-Verbänden — die sich nicht sehr wesentlich voneinander unterscheiden — und den Kompressionsstrümpfen. Der gleichmäßige Druckabfall von der Fessel zur Wade, der vor allem dem Konfektionsstrumpf abgeht, ist unter richtig angelegten Verbänden besser gewährleistet. Bei der Ungenauigkeit der Meßwerte lassen sich die Unterschiede zwischen Kreuzverband und Doppelverband beim Aufblasen und Ablassen des Meßballons nicht ohne weiteres im Sinne einer leichteren Dehnbarkeit d. h. Ausdehnung und Rückstellung des Kreuzverbandes deuten. Beim Ablassen des Balloninhaltes werden an allen Stellen nur etwa halb so hohe Werte wie beim Aufpumpen erhalten, in höheren Bereichen beträgt der Unterschied bis zu 2/3 (Abb. 11), was einmal mehr für die Ungenauigkeit der Methode spricht. Eigenartigerweise liegen die Werte für den Doppelverband, die beim Aufpumpen über denen des Kreuzverbandes lagen, beim Ablassen darunter. Der Grund dafür kann nur darin liegen, daß ein Verband mit gleichsinnig angewickelten Binden in sich weniger nachgiebig ist als ein Kreuzverband mit Scherfestigkeit. Eine entsprechende Tendenz fällt auch bei der Plethysmographie auf. Dagegen läßt sich ein solcher Schluß aus den Differenzen zwischen Morgen und Abend (II/III) wohl nicht ziehen. Die um etwa 1/3 reduzierten Abendwerte entsprechen dem Ergebnis der Plethysmographie und kommen durch den Rückgang des Ödems zustande.

IV. Besprechung der Ergebnisse

Die vorliegende Untersuchung hat an verschiedenen Parametern die mechanischen und elastischen Eigenschaften verschiedener komprimierender Maßnahmen an den Unterschenkeln aufgezeigt. Durch wiederholte Messungen war es ferner möglich, verbindliche Aussagen über die Wirkung und Haltbarkeit der verschiedenen Verbände zu machen. Solche Kontrollmessungen sind allerdings kein absoluter Maßstab für eine bestimmte therapeutische Wir-

kung, zumal die ödemausleitende Komponente und die der Veränderung der Blutspeicherung nicht exakt getrennt werden können. Es konnte jedoch gezeigt werden, daß die therapeutisch letztlich entscheidende Kompressionswirkung bis zu einem gewissen Grade unmittelbar meßbar ist. Sie nimmt in der Reihenfolge Gummistrümpfe, Einbinden-Verband und Zweibinden-Verbände zu. In gleicher Weise verhält sich auch die Wirkung auf das Ödem.

Da von allen Untersuchungsmethoden nur die Plethysmographie in allen Untersuchungsabschnitten durchgeführt werden konnte, eignet sich diese Methode besonders zum Vergleich der einzelnen Abschnitte und der einzelnen komprimierenden Maßnahmen. Die Ergebnisse der statistischen Berechnungen sind in den Tab. 7 a, b und c und 8 a, b und c zusammengefaßt (zur Methodik der Signifikanzrechnung s. S. 19).

1. Abschnitt I/II

Vergleichsmessungen vor und nach Anlage einer Kompression sollten über die Qualität derselben Auskunft geben.

Die Ausdehnung der Wade war nach Anlage eines Kompressionsstrumpfes (mit Ausnahme des Maßgummistrumpfes bei 80 mm Hg Staudruck) in allen sonst geprüften Druckbereichen nicht signifikant eingeengt: ($p > 0{,}05$) dagegen in jedem Falle nach Anlegen eines Kompressionsverbandes (Tab. 7). Zwischen den *verschiedenen* Kompressionsstrümpfen (*Maß- bzw. Konfektions-*)ließ sich dagegen in den Druckstufen von 40 und 80 mm Hg ein Unterschied sichern (Tab. 8); außerdem zwischen den Kompressionsstrümpfen und allen anderen Verbänden.

Zwischen dem Einbinden-Verband und Kreuzverband konnte ein signifikanter Unterschied nur in den niederen Staustufen von 20 und 40 mm Hg gefunden werden, in der 80 mm Hg-Stufe und gegenüber dem Doppelverband war der t-Test nicht zulässig. Die Unterschiede zwischen Kreuz- und Doppelverband waren statistisch nicht zu sichern.

2. Abschnitt I/IV

Ein Vergleich von Meßgrößen, die vor der Anlage einer Kompression am Morgen und nach der Abnahme am Abend gewonnen wurden, sollte Aussagen über die Wirksamkeit verschiedener Kompressionsmethoden und einen Vergleich untereinander und zum Leertag ohne Behandlung ermöglichen.

Der Rückgang des Ödems unter einer komprimierenden Maßnahme konnte sowohl mit dem Echolot (Tab. 3, Abb. 6) als auch mit der Umfangsmessung (Tab. 2, Abb. 5) belegt werden. Er ist etwa proportional der angewandten Kompression. Wenn dabei Umfangsmessungen und Echolot nicht immer völlig übereinstimmen (Wade: MGS, KGS), so dürfte der Grund in der verschiedenen Zusammensetzung der Gruppen am ehesten zu suchen sein. Über die Tiefenwirkung der Verbände lassen die Messungen keine sicheren Aussagen zu. Festzuhalten ist jedoch, daß unter dem Doppelverband an der Wade etwas mehr Ödem ausgepreßt wurde, als unter dem Kreuzverband.

Ohne Verband stellten sich am Abend deutlich Ödeme ein (Tab. 2 u. 3). Die Blutaufnahme der Wade im Stautest nahm ebenfalls zu (Tab. 5 b), jedoch sind die Unterschiede zur Blutaufnahme am Morgen in allen drei Staustufen von 20, 40 und 80 mm Hg nicht signifikant (Tab. 7). Entsprechend ließ sich auch nach Anwendung der verschiedenen komprimierenden Maßnahmen ein signifikanter Unterschied der Blutaufnahme zwischen Morgen und Abend in keiner Staustufe nachweisen (Tab. 7, I/IV). Ebensowenig ließ sich ein signifikanter Unterschied der abendlichen Blutaufnahme zwischen den einzelnen komprimierenden Maßnahmen ermitteln (Tab. 8, IV). Zwar nehmen die Waden nach Anwendung einer komprimierenden Maßnahme während des Tages (mit Ausnahme des KGS und des DV in den niederen Staustufen von 20 und 40 mm Hg) beim Stautest am Abend durchschnittlich weniger Blut auf als die unbehandelten Beine (Tab. 5 b), gegenüber den jeweiligen Morgenwerten ergab sich aber ein wechselndes Verhalten (Abb. 10). Wenn die Unterschiede auch nicht signifikant sind (Tab. 7, I/IV), so fällt doch auf, daß (mit Ausnahme des

Tab.: 7a

20	MGS	KGS	EV	KV	DV	
I / II	0,100	0,200	0,001	0,001	0,001	Leerwert
I / IV	0,800	0,100	0,001	(0,800)	(0,400)	(0,600)
II/ III	(0,600)	(0,100)	0,001	0,001	0,001	

Tab.: 7b

40	MGS	KGS	EV	KV	DV	
I / II	0,100	0,300	0,001	0,001	0,001	Leerwert
I / IV	0,600	0,500	(0,400)	(0,9995)	(0,100)	(0,900)
II / III	(0,950)	(0,600)	0,001	0,001	0,001	

Tab.: 7c

80	MGS	KGS	EV	KV	DV	
I / II	0,050	0,700	0,001	0,001	0,001	Leerwert
I / IV	0,800	(0,600)	0,500	(0,700)	(0,300	(0,400)
II / III	(0,200	(0,800)	0,001	0,001	0,001	

Tab. 7: Vergleich der mittleren Volumenzunahme der Wade vor und nach Anwendung verschiedener Kompressionsmaßnahmen (I / II), vor Anlage und nach Abnahme (I / IV) und nach Anlage am Morgen und vor Abnahme am Abend (II / III), in den Staustufen von 20 (a), 40 (b) und 80 mm Hg (c). Die angegebenen Zahlen bedeuten die Wahrscheinlichkeit p (Probability) der Übereinstimmung zweier Messreihen miteinander. Bei einem p kleiner als 0,05 (= 5 %) wird diese Übereinstimmung verworfen und die beiden Meßreihen als unterschiedlich betrachtet.

Die Zahlen wurden eingeklammert, wenn das Ereignis des F – Testes keine Signifikanz anzeigte und der t – Test daher nicht erlaubt war.

Vergleich aller Verbandmethoden

Tab.: 8a

	II	III	IV
MGS – KGS	(0,005)	(0,300)	0,300
MGS – EV	0,001	0,001	0,050
MGS – KV	0,001	0,001	(0,700)
MGS – DV	0,001	0,001	0,400
KGS – EV	0,001	0,001	(0,400)
KGS – KV	0,001	0,001	0,200
KGS – DV	0,001	0,001	0,400
EV – KV	0,001	0,001	0,020
EV – DV	(0,050)	0,001	0,050
KV – DV	0,100	0,800	(0,975)

20

Tab.: 8b

	II	III	IV
MGS – KGS	0,005	(0,050)	(0,800)
MGS – EV	0,001	0,001	0,300
MGS – KV	0,001	0,001	0,700
MGS – DV	0,001	0,001	0,200
KGS – EV	0,001	(0,001)	0,200
KGS – KV	0,001	(0,001)	0,500
KGS – DV	0,001	0,001	0,100
EV – KV	0,001	(0,020)	(0,500)
EV – DV	(0,001)	0,001	(0,600)
KV – DV	(0,980)	(0,600)	(0,300)

40

Tab.: 8c

	II	III	IV
MGS – KGS	0,050	(0,600)	0,800
MGS – EV	0,001	0,001	(0,200)
MGS – KV	0,001	(0,001)	0,500
MGS – DV	0,001	(0,001)	0,700
KGS – EV	0,001	0,001	0,200
KGS – KV	0,001	0,001	(0,400)
KGS – DV	0,001	(0,001)	(0,990)
EV – KV	(0,001)	0,020	0,900
EV – DV	(0,001)	(0,001)	0,100
KV – DV	(0,025)	0,050	0,300

80

KGS am Abend) umso weniger Blut gespeichert wurde, je schwächer die Kompression war. Mangels Signifikanz sind diese Ergebnisse aber nur insofern vergleichbar, als alle Werte auf den berichtigten Mittelwert bezogen sind und sich dabei eine gleichmäßige Reihen- bzw. Stufenfolge ergibt. Dieser Befund läßt sich nicht ohne weiteres erklären. Eine verschiedene Zunahme des Tonus der Gefäße ist ebenso möglich wie eine bessere Straffung der Haut oder des übrigen Bindegewebes. Desgleichen kann der verschiedene Ödematisationsgrad die Venenweite beeinflussen, denn die Venen sind nach von LANZ (23, 24) so in ihrer Umgebung verankert, daß sie bei zunehmendem Ödem nicht enger, sondern weiter gestellt werden (s. S. 46). Alle diese Erwägungen werden aber durch das Verhalten der „Leergruppe" mit dem stärksten Ödem widerlegt, weshalb nach wie vor die Auffassung vertreten wird, daß die Ödemausleitung unter hoher Kompression, wie sie bei den Zweibinden-Verbänden vorliegt, eine größere Blutaufnahme am Abend ermöglicht. Die höheren Abendwerte entsprechen also u. E. vom therapeutischen Standpunkt her gesehen, eher einem positiven als einem negativen Effekt. Das Ödem der Leergruppe ist offenbar durch die dauernde Volumenbelastung bedingt, die bis zum Abend zu einer Ausweitung und Erschlaffung des Venensystems mit vermehrter Spannung führt. Da signifikante Unterschiede aber nicht bestehen, läßt sich in dieser Beziehung eine verbindliche Aussage weder beweisen noch widerlegen.

3. Abschnitt II/III

Mit diesem Vergleich wurde versucht, Anhaltspunkte über die Haltbarkeit der verschiedenen komprimierenden Maßnahmen zu gewinnen. Da inzwischen aber auch Ödem ausgeleitet worden war (s. o.), sind die Ergebnisse der abendlichen Messung über den Strümpfen bzw. Verbänden nur bedingt verwertbar: Zumindest von den Kompressionsstrümpfen kann gesagt werden, daß sich ihre elastischen Eigenschaften während des Tages nicht verändert haben (wenn ein Abrutschen ausgeschlossen ist). Ein statistischer Vergleich der Abschnitte II/III war für die Kompressions-

strümpfe in allen drei Druckstufen nicht zulässig, alle Verbände zeigten dagegen in sämtlichen Druckstufen eine signifikante Veränderung im Laufe des Tages im Sinne einer größeren Speicherung (Tab. 5 d i. V. mit Tab. 7).

Die Unterschiede zwischen Strümpfen und Verbänden konnten dagegen statistisch gesichert werden (Tab. 8, III). Allerdings war ein Vergleich MGS/KV, MGS/DV in der 80 mm Hg-Druckstufe und ein Vergleich KGS/EV sowie KGS/KV in der 40 mm- und KGS/DV in der 80 mm Hg-Druckstufe nicht zulässig (Tab. 8).

Der Unterschied zwischen Einbinden- und Kreuzverband ist in der 20 und 80 mm Hg-Stufe signifikant, ebenso der zwischen Einbinden- und Doppelverband in der 20 und 40 mm Hg-Stufe. Insgesamt sind die Unterschiede zwischen dem Einbinden- und den beiden Zweibinden-Verbänden statistisch gesichert. Die Unterschiede zwischen Kreuz- und Doppelverband sind in der 20 mm Hg-Stufe nicht gesichert, in der 40 mm Hg-Stufe war der t-Test nicht zulässig. In der 80 mm Hg-Stufe ergab sich dagegen nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % ein signifikanter Unterschied, der unmittelbar nach Anlage der Verbände in Abschnitt II nicht gegeben war.

Wie gezeigt werden konnte, sind die Änderungen im Verhalten der Ausdehnung vom Morgen bis zum Abend mehr auf den Rückgang des Ödems als auf eine Änderung der Verbände zurückzuführen. Die Differenz in der Ausdehnung zwischen morgens und abends zeigt Abb. 12 Wenn die Unterschiede zwischen Kreuzverband und Doppelverband statistisch auch nicht zu sichern sind (Tab. 8), so erscheint darüber hinaus der *Verlauf der Druck-Volumenkurve* in den niederen Staubereichen außerordentlich aufschlußreich. Obwohl der Ansatzpunkt des Kreuzverbandes am Morgen nach der Anlage im *Druck-Volumen-Diagramm* weiter links liegt als der Doppelverband, verläuft der Anstieg flacher (Abb. 9). Das gleiche Verhältnis besteht übrigens auch am Abend vor der Abnahme bei nach rechts verschobenen Ausgangspunkten.

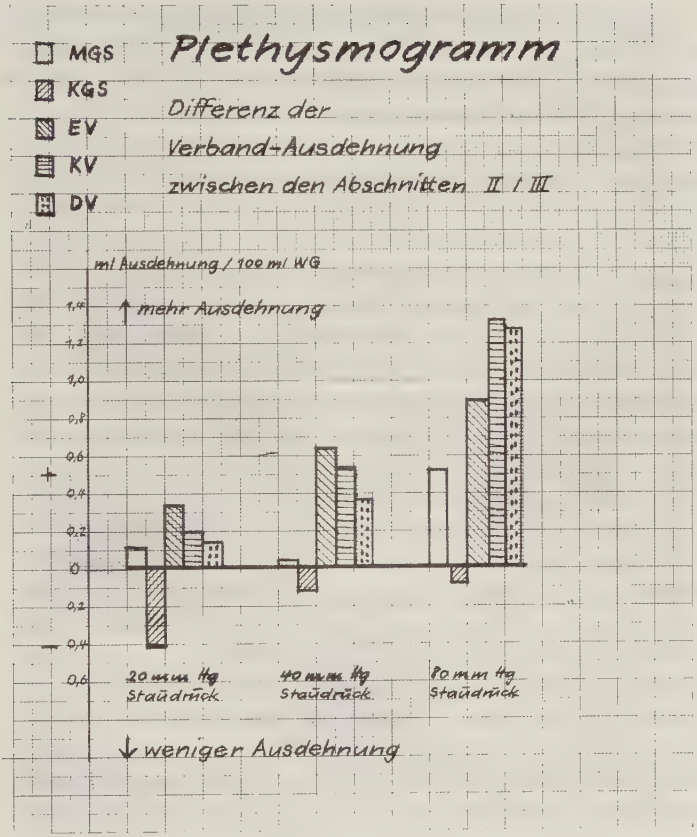

Abb. 12: Änderung der Volumenaufnahme der Wade unter verschiedenen Kompressionen zwischen Morgen und Abend (Abschnitt II/III) im Stautest mit verschiedenen Druckstufen.

Es zeigt sich also, daß der Kreuzverband trotz größeren Andrucks offenbar dehnbarer ist (Diese Annahme wurde durch den Kompritest bestätigt). Da das Verbandsmaterial gleich ist, kann dieses Verhalten nur auf der verschiedenen Wickeltechnik beruhen. Beim Doppelverband verlaufen die beiden ansteigenden Bindentouren am Unterschenkel stets parallel, beim Kreuzverband infolge der veränderten Wickelrichtung dagegen *überkreuzt* (X).

Bei zunehmenden Ausdehnungskräften, die von innen her auf die Verbände wirken, können die Bindentouren des Kreuzverbandes etwas besser nachgeben und in die Ausgangslage zurückkehren, sei es, daß der Kreuzverband eine geringere innere Reibung als der Doppelverband besitzt (was unwahrscheinlich ist), sei es, daß sich der gegenseitige Neigungswinkel der Bindentouren des Kreuzverbandes verkleinert, die Touren der beiden Binden dadurch flacher gegeneinander verlaufen und sich so weiterstellen. Die Längsdehnung wird diesen Effekt zwar bremsen, dennoch bedingt der Kreuzverband durch diese *Scherwirkung* seiner entgegengesetzten Bindentouren eine bessere Plastizität. Die Binden werden bei den Formveränderungen des Unterschenkels, z. B. durch die Kontraktion der Wadenmuskeln nicht in einer Richtung ausgedehnt und dadurch gelockert, sondern sie können sich diesen Formveränderungen wesentlich besser anpassen und danach auch in ihre Ausgangslage wieder zurückkehren, ohne größere Verschiebungen wie beim Doppelverband zu erleiden. Durch diese relativ bessere Nachgiebigkeit gewinnt der Kreuzverband seine große Haltbarkeit. Er verrutscht erfahrungsgemäß viel weniger als der Doppelverband und hält nicht nur über Nacht, sondern mehrere Tage lang bis zu einer Woche.

V. Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurden aufgrund von 11436 Einzelmessungen und ihrer statistischen Bearbeitung die Dehnungseigenschaften und die klinischen Auswirkungen verschiedener Kompressionsverbände mit mehreren Meßmethoden nachgeprüft und untereinander sowie in Stichproben auch mit Maß- und

Konfektionsgummistrümpfen verglichen. Nachdem die technischen Schwierigkeiten einer exakten Messung dargelegt wurden, konnte anhand mehrerer Parameter folgendes gezeigt werden:

1. Die Untersuchungen mit dem Echolot (Leerversuche) haben gezeigt, daß die Ödemzunahme im Laufe eines Tages unter natürlichen Bedingungen im Bereich sowohl der Fessel als auch unterhalb des Knies wesentlich größer war als an der Wade. Ein Befund, der sich nur dahingehend interpretieren läßt, daß neben der Fesselgegend als Schwachpunkt der venösen Zirkulation ein zweiter – in Übereinstimmung mit der klinischen Erfahrung – unterhalb des Knies gegeben ist und daß demgegenüber die Wadengegend wegen der höheren Effektivität der Muskelpumpe die günstigsten Verhältnisse bietet.

2. Kompressionsstrümpfe liegen weitaus weniger straff an als Kompressionsverbände.

3. Maßgummistrümpfe sind den Konfektionsgummistrümpfen eindeutig überlegen.

4. Der effektive Andruck wirksamer Kompressionsverbände muß näherungsweise über 40 mm Hg liegen. Gummistrümpfe setzen der Ausdehnung eines gestauten Unterschenkels einen nur geringen Widerstand entgegen, der sich von der natürlichen Ausdehnung des unbewehrten Unterschenkels kaum unterscheidet im Gegensatz zu einfachen Kompressionsverbänden, die diese Ausdehnung bis zu 60 % einschränken. Bei Verwendung von 2 Binden steigt der Effekt sogar auf 85 – 95 %.

5. Die antiödematöse Wirkung ist der Kompressionswirkung etwa proportional. Zweibinden-Verbände sind dem einfachen Kompressionsverband um das Doppelte überlegen.

6. Durch die Abschwellung der Beine wird die Aufnahmefähigkeit für gestautes Blut unter den Verbänden signifikant vergrößert.

7. Doppelbinden- und Kreuzverband unterscheiden sich hinsichtlich ihres Effektes nicht signifikant. Der Vorteil des Kreuzverbandes liegt in seiner größeren Plastitzität. Durch die Änderung der Wickelrichtung kann der Verband wesentlich besser an das Bein „anmodelliert" werden. Die Überkreuzung der Bindenführung und ihre „Scherwirkung" gewährleistet bei einer von innen kommenden Ausdehnung eine bessere Anpassung an die Formänderungen des Unterschenkels, z. B. bei der Muskelkontraktion oder beim Rückgang eines Ödems. Dadurch gewinnt der Kreuzverband nach G. PÜTTER eine wesentlich bessere Haltbarkeit, so daß er viel weniger leicht verrutscht und wesentlich länger als alle anderen Verbände getragen werden kann, ohne seine Wirkung entscheidend einzubüßen, wie z. B. beim Zinkleimverband.

VI. Literaturverzeichnis

1) Schneider, W. und Fischer, H. „Grundlagen und Technik der Kompressionsbehandlung", Der Internist, 1967, 11 398 – 405

2) Fischer, Heinrich. „Zur Therapie der Stauungen in der unteren Extremität und ihrer Folgen", MMW, 1923, 116 – 117

3) Pütter, G. „Grundlagen und Ausführung einer neuen Verbandstechnik zur Behandlung von Ulcus cruris", Privatklinik u. Sanatorium, 1952, 4

4) Adam, W., Barbey, K. und Oehmichen, Ch. „Druckmessung unter dem Gummistrumpf", Zentralblatt für Phlebologie, 1964, 3 170 – 182

5) van der Molen, „Internationale Tagung für Phlebologie, Wien", 1966, Varitex

6) van der Molen, H. R. „Die physiologischen Grundlagen der Kompressionsbehandlungen bei venösen und lymphatischen Störungen der unteren Extremität", Zentralblatt für Phlebologie 1964, 3 186

7) Aussum, J. F. „Die Druckmessung am Kompressionsstrumpf", MMW, 1965, 44 2195 – 2201

8) Haid, H. und Schoop, P. „Eine neue Methode zur Messung und Registrierung des Andruckes unter Kompressionsverbänden", Die Medizinische Welt, 1965, 37 2110 – 2113

9) Olsen, G. „Gummistrümpfe und Erfahrungen mit dem Neo-Durelna-Gummistrumpf", Anthologia phlebologica Varitex Harlem 1926

10) Sigg, K. „Varizen, Ulcus cruris und Thrombose“ 3. Auflage Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1968.

11) Schmitz, R. „Zur Vorausschätzung des Kompressionsdruckes bei Gummistrümpfen“, Zentralblatt für Phlebologie, 1964, 3 183

12) Barbey, K. und Brecht, K. “Venentonus und Venenkapazität und ihre Messung“, Die Medizinische Welt, 1965, 15 727 – 732

13) Pauschinger, P. und Rieckert, H. „Mündliche Mitteilung“

14) Barbey, K. und Barbey, B. „Ein neuer Plethysmograph zur Messung der Extremitätendurchblutung“, Zeitschrift für Kreislaufforschung, 1963, 1129 – 1140

15) Barbey, K. und Adam, W. „Eine Methode zur Messung von Druckvolumendiagrammen am Bein“, Archiv für klinische und experimentelle Dermatologie, 1965, 322 423 – 429

16) Fischer, H. und Barbey, K. „Die Extremitäten durchblutung beim varikösen Symptomenkomplex“, Archiv für klinische und experimentelle Dermatologie, 1966, 224 402 – 407

17) Anschütz, F. und Burkert, E. „Der Fehler der auskultatorischen Blutdruckmessung nach RIVA-ROCCI/ KOROTKOFF an umfangreichen Weichteilen“, Zeitschrift für Kreislaufforschung, 1954, 43 335 – 343

18) Paerisch, L. und Paerisch, M. „Messung der Schichtdicke des menschlichen Unterhautfettgewebes mit

dem Ultraschall-Impuls-Echoverfahren", Archiv für Physiologie, 1962, 276 437 – 443

19) Fischer, H. und Schneider, W. „Zur Messung von Schwellungszuständen der Unterschenkel mit Hilfe des Ultraschall-Impulsecho-Verfahren", Angiologica, 1966, 3 259 – 267

20) Fischer, H. „Zur Messung von Schwellungszuständen der Unterschenkel mit Hilfe des Ultraschall-Impuls-Echoverfahrens", Zentralblatt für Phlebologie, 1968, 7 72 – 82

21) Tronnier, H. „Über die Konsistenz der normalen und ödematösen Haut", Archiv für klinische und experimentelle Dermatologie, 1967, 228 372 – 384

22) Tronnier, H. und Fischer, H. „Zur Differenzierung kutaner Zustandsänderungen unter verschiedenen Stauungsbedingungen", Dermatologica (Basel), 1965, 131 199 – 212

23) Lanz, T. v., Kressner, A. und Schwendemann, R. „Der Einbau der oberflächlichen und der tieferen Venen am Bein, morphologisch und konstruktiv betrachtet, Zeitschr. f. Anat. Entw.-Gesch., 1938, 108 695 – 718

24) Schneider, W. und Fischer, H. „Die chronisch-venöse Insuffizienz", Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart, 1969, 37

Herrn Professor Dr. med. W. Schneider
danke ich für die freundliche Überlassung
des Themas und die zahlreichen Anregungen
bei der Durchführung der Arbeit.

Ebenso gilt mein Dank den Herren Professoren
Dr. med. H. Fischer, Dr. med. H. Tronnier
und Herrn Doz. Dr. med. P. Pauschinger,
die mir bei schwierigen Fragen wertvolle
Ratschläge erteilten.

Lebenslauf

Am 17. 1. 1942 wurde ich, Sigurd Pütter, als Sohn des Arzneimittel-Fabrikanten Gustav Pütter und seiner Ehefrau Edelgard, geb. Kyora, in Iserlohn geboren.

Nach Besuch der Volksschule und des Landesschulheimes Höfinghoff (Neusprachliches Gymnasium) in Garenfeld bei Schwerte, legte ich dortselbst am 28. 3. 1962 die Reifeprüfung ab.

Danach ging ich für ein Jahr in die höhere Handelsschule in Hagen, die ich mit der kaufmännischen Gehilfenprüfung abschloß.

Das Studium der Medizin nahm ich mit dem Sommersemester 1963 an der Universität Bonn auf, an der ich auch im Frühjahr 1966 das Physikum bestand.

Mein zweites klinisches Semester verbrachte ich in den Städtischen Krankenanstalten in Essen und wechselte danach wieder nach Bonn zurück, wo ich am 18. Juli 1969 das medizinische Staatsexamen bestand.

Am 28. 7. 1966 heiratete ich meine Frau Ellen, geb. Grenningloh. Unserer Ehe entstammen 2 Kinder.